



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN**  
**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

## **EL SOLMAFORO**

**TRABAJO MONOGRÁFICO COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA.**

### **PRESENTADO POR:**

- Br. Jorge David Vallejos Montiel 2011-37640
- Br. Marlon Alexander Munguía Martínez 2011-36827
- Br. Yerri Antonio Ruíz Rodríguez 2011-37057

### **TUTOR:**

MSc. José Manuel Arcia Salmerón.  
Prof. Titular FEC.  
Universidad Nacional de Ingeniería.

Managua, Mayo de 2019

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo monográfico está dedicado a YHWH, el Dios Todopoderoso.*

**Jorge Vallejos**

*A Dios por haberme brindado la vida y fuerza, sabiduría, entendimiento, salud y guiarnos hasta la culminación de este proyecto. A mi familia; mis padres Sergio Ruíz López y Juana Rodríguez Sánchez por su apoyo incondicional en cada meta que me he propuesto. A nuestra Nicaragua que por medio de este proyecto podamos aportar a su desarrollo.*

**Yerri Ruíz**

*Esta tesis se la dedico a Dios primeramente, al guiarme por el buen camino, darme las fuerzas para seguir adelante para no retroceder ante las adversidades que se presentaron, brindándome la sabiduría necesaria para encontrar las soluciones a los problemas que se presentaron; a mi familia por enseñarme a no darme por vencido y buscar siempre una solución a los problemas independientemente de su complejidad, a mis padres por apoyarme hasta el final en mis estudios tanto económica como sentimentalmente.*

**Marlon Munguía**

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios porque abrió todas las puertas necesarias, proveyó los recursos económicos, la sabiduría, la fuerza y en todo momento estuvo conmigo. A mis padres: Gregorio y Dominga y mis hermanos: Sugey, Néstor y Carlos; muchas gracias por todo su apoyo y sus grandes sacrificios para que yo lograra terminar esta carrera. A mi novia Cristhiam, por haber estado conmigo desde el inicio hasta el final de esta etapa de mi vida, siempre tuviste una palabra de aliento para mí. A Daniel Zamora y Maritza Ríos, por todo su apoyo. A nuestro tutor, el Ing. Manuel Arcia, por darnos la oportunidad de trabajar con él, y dirigirnos todo este período de tiempo hasta alcanzar los resultados esperados. A mis hermanos en Cristo de la iglesia Emanuel, por presentarme siempre ante Dios en sus oraciones. A mis profesores, Silvia Calero y Ramiro Zepeda, ustedes fueron el medio para que yo lograra entrar a estudiar a esta universidad. A los ingenieros Hugo Zepeda, Aldrin Guevara y Jorge Mora, por todo su apoyo con mi hospedaje durante mis años de estudio. A la familia Ruíz Rodríguez, gracias por haberme extendido una mano amiga en el momento en que más lo necesité. A doña Fabiola y doña Iselvia por su apoyo incondicional. Al pueblo de Nicaragua, porque con sus impuestos financiaron mi educación. Agradezco de manera especial al profesor Jairo Fúnez, por sus excelentes aportes en la revisión de este documento.*

**Jorge Vallejos**

*A Dios creador del universo, dador de la vida, por ser nuestra fortaleza en los momentos difíciles. A mis padres por su amor, paciencia y apoyo. A nuestro tutor por habernos guiado a lo largo del desarrollo de este proyecto. Al Ing. Franco Ugarte Calderón por su amistad, paciencia y asesoramiento.*

**Yerri Ruíz**

*A Dios por regalarnos la vida y fuerzas en momentos difíciles, a mis padres por su apoyo, amor, dedicación al educarme y guiarme por el camino del bien, a nuestro tutor por darnos el pan del conocimiento y guiarnos durante todo el proceso del desarrollo del proyecto.*

**Marlon Munguía**

## **RESUMEN**

El presente documento muestra el proceso de diseño y construcción de un prototipo de un Solmáforo, el cual mide el índice de radiación ultravioleta y lo muestra por medio de señales lumínicas según un código de colores establecido por la Organización Mundial de la Salud, además, contiene una leyenda en su estructura por medio de la cuál presenta mensajes de fotoprotección. El Solmáforo construido, también mide la temperatura y la humedad relativa y las presenta junto con el tiempo, por medio de unas pantallas. Adicionalmente, se implementó una página web, desde la cual se pueden observar en tiempo real las mediciones de las variables mencionadas anteriormente.

**Palabras clave:** Solmáforo, índice de radiación ultravioleta, cáncer de piel.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	ANTECEDENTES.....	2
3	JUSTIFICACIÓN.....	5
4	OBJETIVOS .....	7
4.1	Objetivo General .....	7
4.2	Objetivos Específicos .....	7
5	MARCO TEÓRICO .....	8
5.1	Cambio climático.....	8
5.1.1	La atmósfera, su composición y estructura .....	8
5.1.2	Efecto invernadero .....	10
5.1.3	Gases de efecto invernadero .....	11
5.1.4	El calentamiento global .....	13
5.2	Ondas electromagnéticas.....	14
5.2.1	El espectro electromagnético .....	17
5.2.2	La naturaleza de la luz .....	18
5.3	Radiaciones .....	19
5.3.1	Radiación ionizante.....	20
5.3.2	Radiación no ionizante .....	22
5.3.3	Radiación solar .....	23
5.4	Radiación ultravioleta .....	28
5.4.1	Factores que influyen en los niveles de radiación ultravioleta .....	29
5.4.2	Disminución de la capa de ozono.....	32
5.4.3	Irradiancia eritemática .....	35
5.4.4	Efectos biológicos de la radiación UV .....	39
5.5	Índice de Radiación Ultravioleta (UVI) .....	48
5.5.1	Presentación gráfica del UVI .....	51
5.5.2	Recomendaciones básicas sobre fotoprotección .....	51
5.6	El Solmáforo .....	55
5.7	Plataformas de desarrollo Web .....	57
5.7.1	¿Qué es una página web? .....	57
5.7.2	HTML5 .....	57

5.7.3	CSS 3 .....	58
5.7.4	JavaScript .....	58
5.7.5	PHP .....	59
5.7.6	MariaDB .....	59
5.7.7	Bootstrap .....	59
5.7.8	PhpMyAdmin .....	60
5.7.9	Laravel .....	60
5.7.10	DataTables .....	61
5.7.11	Apache .....	61
5.7.12	AJAX .....	62
5.7.13	Raspberry Pi .....	62
6	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA .....	64
6.1	Diseño e implementación del sistema electrónico .....	64
6.1.1	Diagrama de bloques del sistema .....	64
6.1.2	Sensores y principales semiconductores .....	65
6.1.3	Diseño e implementación de la interfaz de visualización .....	70
6.1.4	Interfaz de entrada de datos .....	79
6.1.5	Interfaz de comunicación .....	81
6.1.6	Fuente de alimentación DC .....	82
6.2	Interfaz web .....	91
6.2.1	Servidor web y de base de datos .....	92
6.3	Diseño de la estructura física del prototipo del Solmáforo .....	96
6.4	Costos de fabricación del prototipo .....	97
7	ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	100
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	102
8.1	Conclusiones .....	102
8.2	Recomendaciones .....	103
9	BIBLIOGRAFÍA .....	104

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL SOLMÁFORO .....	i
ANEXO B	FABRICACIÓN DE LAS PCB .....	x
ANEXO C	INSTALACIÓN DEL SERVIDOR WEB .....	xvi
ANEXO D	CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA .....	xxviii
ANEXO E	FOTOGRAFÍAS CONSTRUCCIÓN DEL SOLMÁFORO.....	xxxvi
ANEXO F	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR.....	xl
ANEXO G	CÓDIGO DEL MICROCONTROLADOR.....	xli
ANEXO H	DISEÑO DE LAS PCB.....	lxiii
ANEXO I	HOJAS DE DATOS DE COMPONENTES.....	lxx

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Capas que forman la atmósfera .....	8
Figura 2. Efecto invernadero .....	11
Figura 3. Representación de una onda electromagnética.....	15
Figura 4. Características principales de una onda .....	16
Figura 5. El espectro electromagnético .....	18
Figura 6. Poder de penetración de las radiaciones ionizantes.....	21
Figura 7. Distribución promedio de la irradiación solar sobre la Tierra.....	24
Figura 8. Componentes de la radiación solar .....	24
Figura 9. Pirheliómetros .....	25
Figura 10. Respuesta coseno de un piranómetro. ....	26
Figura 11. Ley del coseno de Lambert. ....	26
Figura 12. Piranómetro de termopila SR11.....	27
Figura 13. Piranómetro de fotocélula de silicio .....	27
Figura 14. Factores que influyen en los niveles de radiación UV.....	30
Figura 15. Ozonólisis.....	32
Figura 16. Ozonogénesis. ....	33
Figura 17. Ozonólisis antropogénica. ....	34
Figura 18. Espectro de acción eritemática.....	36

Figura 19. Quemadura solar.....	40
Figura 20. Capacidad de penetración de los rayos UV en las capas de la piel..	41
Figura 21. Carcinoma de Células Basales.....	42
Figura 22. Carcinoma de Células Escamosas. ....	43
Figura 23. Queratoacantomas. ....	43
Figura 24. Queratosis actínica.....	44
Figura 25. Melanoma .....	44
Figura 26. Afecciones oculares de la radiación UV.....	46
Figura 27. Logo UVI .....	48
Figura 28. Categorías de exposición a la radiación UV. ....	49
Figura 29. Código de colores para el UVI.....	51
Figura 30. Pictogramas de protección solar.....	52
Figura 31. Pautas de fotoprotección brindadas por la OMS.....	53
Figura 32. Factor de protección solar real proporcionado según la cantidad de fotoprotector aplicada.....	53
Figura 33. Categorías de fotoprotección.....	53
Figura 34. Falsas creencias habituales sobre la radiación UV.....	54
Figura 35. Sistema de protección solar recomendado, con mensajes .....	55
Figura 36. Prototipo de Solmáforo construido por Gramsch. ....	55
Figura 37. Partes que conforman un Solmáforo. ....	56
Figura 38. Código de colores y su equivalencia en UVI.....	56
Figura 39. Ejemplo de leyenda en un Solmáforo. ....	56
Figura 40. Raspberry Pi 2 Modelo B.....	62
Figura 41. Diagrama de bloques del sistema.....	64
Figura 42. AM2301.....	65
Figura 43. Asignación de pines AM2301. ....	65
Figura 44. Sensor UV Davis 6490. ....	66
Figura 45. Diagrama de conexiones del sensor Davis 6490. ....	66
Figura 46. Módulo DS3231.....	67
Figura 47. Vista posterior pantalla LCD I <sup>2</sup> C. ....	67
Figura 48. Pantalla .....	68

Figura 49: MAX7219 .....	68
Figura 50. Diagrama de bloques UDN2981 .....	69
Figura 51. Diagrama lógico ULN2803A. ....	69
Figura 52. Arduino Nano. ....	70
Figura 53. Arreglo de pantallas de 7 segmentos. ....	71
Figura 54. . Diagrama interno de las pantallas 7 segmentos. ....	72
Figura 55. Diagrama esquemático del controlador de las pantallas de 7 segmentos.....	72
Figura 56. Primer diseño de la PCB del controlador de pantallas de 7 segmentos.....	74
Figura 57. . LED tipo bombín.....	76
Figura 58: Arreglo LED para las lámparas.....	76
Figura 59. Circuito de control para una de las lámparas LED.....	79
Figura 60. Esquema de la interfaz de entrada. ....	79
Figura 61. Diagrama esquemático del regulador de 12V.....	88
Figura 62. Diagrama esquemático del regulador de 5V.....	90
Figura 63. Diagrama esquemático del regulador de 3V.....	90
Figura 64. Vista principal de la página web. ....	92
Figura 65. Memoria RAM consumida por conexión a Apache 2. ....	93
Figura 66. Cantidad de memoria RAM consumida por el resto de procesos del Sistema Operativo.....	93
Figura 67. Espacio disponible para almacenamiento en la Raspberry Pi.....	95
Figura 68. Caja plástica donde se introdujo la circuitería del proyecto.....	96
Figura 69. Etapas de la construcción de la estructura del proyecto. ....	97
Figura 70. Publicación de la entrevista realizada a los autores por la División de Comunicación UNI .....	100
Figura 71. Presentación del prototipo en la feria del día internacional del Arduino. .....	100
Figura 72. Medición del índice de radiación UV.....	101

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Descripción de las capas que componen la atmósfera. ....	9
Tabla 2: Principales características de los gases de efecto invernadero .....	12
Tabla 3: Porcentaje de radiación solar extraterrestre .....	23
Tabla 4: Bandas de radiación UV. ....	28
Tabla 5: Fototipos de piel y su Dosis Eritémica Mínima (MED).....	38
Tabla 6: Equivalente en MED/hora para los valores del UVI .....	50
Tabla 7: Tiempo máximo permitido de exposición solar (en minutos).....	50
Tabla 8: Principales características del sensor AM2301.....	66
Tabla 9: Características principales del sensor Davis 6490.....	67
Tabla 10: Características principales del microcontrolador ATmega328P .....	70
Tabla 11: Características eléctricas de los LED implementados.....	76
Tabla 12: Valor de resistencia de limitación para los distintos colores de LED. 78	
Tabla 13: Costos de fabricación de la estructura del proyecto.....	98
Tabla 14: Costos de los componentes y materiales para la construcción del dispositivo .....	98

## **1 INTRODUCCIÓN**

Desde comienzos de los años setenta se ha detectado a nivel mundial un aumento de la incidencia de cáncer de piel en todo el mundo. La Organización Mundial de la Salud (OMS), por medio del proyecto INTERSUN<sup>1</sup>, ha creado el índice UV solar mundial (UVI) como un medio para hacer conciencia en la población de los peligros para la salud que trae consigo la exposición excesiva a la radiación ultravioleta. (OMS, 2003)

El presente trabajo, propone el diseño y la construcción de un prototipo de Solmáforo; que presenta por medio de un código de colores establecido por la OMS, el índice UV solar mundial y a su vez muestra mensajes de fotoprotección de fácil interpretación para la población. El objetivo del Solmáforo es que sirva como un instrumento educativo que informe a la población en general sobre la radiación ultravioleta (UV) y que a la vez, contribuya a modificar las actitudes y comportamientos de los mismos, sobre la exposición y la protección de la radiación solar.

---

<sup>1</sup> INTERSUN es un proyecto mundial de protección contra la radiación ultravioleta.

## 2 ANTECEDENTES

Debido al deterioro de la capa de ozono, algunos países han tomado medidas de precaución ante la radiación ultravioleta; una de ellas, es la creación de un dispositivo electrónico (Solmáforo) que permite indicar de manera visual el nivel de radiación UV al que se exponen las personas. El propósito de esta invención, es la de prevenir y hacer consciencia en la población, sobre los efectos nocivos de la exposición a la radiación UV tales como, el cáncer de piel y otras afecciones afines. (Aviña, 2019; Infobae, 2019; Universia Colombia, 2019; Universidad Católica, 2019)

En la Universidad Nacional de Ingeniería, no se han realizado investigaciones relacionadas con el diseño y construcción de este tipo de dispositivos para la medición y exposición del índice de radiación ultravioleta.

A nivel internacional, en el ambiente académico; se conoce de trabajos en cuanto a Solmáforos. En el año 2004, nace en Chile el primer Solmáforo. Fue diseñado e implementado por los científicos chilenos Santibáñez y Gramsch. Según Gramsch nace de la necesidad que tenía la CONAC (Corporación Nacional del Cáncer) de informar a la población de los peligros de la radiación ultravioleta; para su desarrollo, contó con el apoyo de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). Dicho Solmáforo, mediante sensores ópticos mide el nivel de radiación y muestra la medición de manera didáctica, mediante una carta de colores establecida por la OMS. Los Solmáforos se comenzaron a instalar en Chile en el año 2004, en las ciudades de Antofagasta, Santiago, Coyhaique, entre otras. [Corporación Nacional del Cáncer (CONAC), 2019]

Se consultó la tesis desarrollada en Ecuador en la Universidad Politécnica Salesiana de Quito; Cristina Lema y Diana Zuleta realizaron un análisis a nivel horario, diario, mensual y anual con los datos proporcionados por la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ). Las estaciones de la REMMAQ usan un Piranómetro (para la medición de radiación solar global) tipo termopila, un sensor de temperatura PT100 (para la medición de temperatura ambiente), un radiómetro (para la medición de radiación ultravioleta). Con los



datos obtenidos por los sensores, generaron un modelo espacial sobre ArcGIS v10.2, el cual permite conocer los niveles de alerta a nivel geográfico en la ciudad, estos datos son presentados mediante una base de datos con una interfaz Web, éste servidor contó con algunos requerimientos para su buen funcionamiento: Sistema operativo Linux CentOS v5.9, base de datos PostgreSQL v9.1.9, datos espaciales PostGIS v1.5, servidor Apache Tomcat v6.0.32 y un programa desarrollado en Java. (Lema & Zuleta, 2015)

En Puno (Perú) Patrick Paredes, diseño un sistema de señalización (Solmáforo), en la Universidad Nacional del Altiplano, para la prevención de los efectos de la radiación solar para los estudiantes de la EPIE (Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica). Para su desarrollo utilizó un microcontrolador basado en la plataforma Arduino, un sensor GUVA-S12SD de un módulo UVM30A que mide la radiación UV en el rango de los 200 a los 370nm. Además, usó una Shield Arduino Ethernet, para poder visualizar en tiempo real las mediciones en una página web. (Paredes, 2017)

En Sangolquí (Ecuador), en la Universidad de las Fuerzas Armadas, Fanny Alquina desarrolló e implementó un dispositivo “wearable”, para las personas que realizan montañismo. El autor usó un Arduino Nano y sensores: LM35 (temperatura corporal), DHT11 (humedad relativa y temperatura ambiente), BMP180 (presión atmosférica, altura y temperatura) y SI1145 (nivel de radiación UV, infrarrojo y visibilidad) para la medición de las variables ambientales que sirven de ayuda al deportista. Además, Alquina desarrolló una aplicación móvil con Android Studio, ésta envía los datos de los sensores a un servidor web desarrollado sobre PHP, con el objetivo de mantener informado al deportista, de las condiciones ambientales en las que se encuentra y diseñó una base de datos en donde son almacenadas las mediciones obtenidas por los sensores. (Alquina, 2017)

Por último, en Bogotá, Colombia, en febrero de 2017, la agencia de noticias UN de la Universidad Nacional de Colombia dio a conocer un Solmáforo, que fue desarrollado por el Museo de la Ciencia y el Juego (MCJ) de la misma universidad.

Éste dispositivo cuenta con sensores que detectan la radiación ultravioleta, temperatura y humedad relativa, un reloj, una memoria microSD, una pantalla LCD y dos placas Arduino que se comunican entre sí a través de un módulo bluetooth. Así mismo en una pantalla son mostradas las medidas de precaución que las personas deben tomar para protegerse de los rayos UV. Este dispositivo fue instalado en las ciudades: Bolívar, Kennedy, San Cristóbal y Usaquén. (UN, Agencia de noticias, 2017)

### 3 JUSTIFICACIÓN

La capa de ozono en la estratósfera, protege la vida en la tierra de los rayos ultravioletas provenientes del sol. En 1980, la comunidad científica comenzó a acumular evidencia de que la capa de ozono estaba reduciéndose. Luego de numerosas investigaciones, ahora se sabe que diversas sustancias químicas halogenadas como los Clorofluorocarbonos (CFC, utilizados en la refrigeración y el aislamiento, y como propelentes de aerosoles), el Bromuro de Metilo, el Halón y el Cloroformo de Metilo (que son inertes a temperatura ambiente, pero al ascender, reaccionan con el ozono en la estratósfera polar que es extremadamente fría y forman radicales libres) destruyen el ozono estratosférico. (A. J. McMichael et al., 2003; Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA], 2001).

La reducción de la capa de ozono aumenta el nivel de radiación ultravioleta que llega a la superficie de la tierra, lo cual, a su vez, puede aumentar las probabilidades de sobreexposición a los rayos ultravioletas y los problemas de salud asociados con ellos tales como:

- Cáncer de piel y otros trastornos cutáneos.
- Cataratas y otros trastornos de la vista.
- Inhibición del sistema inmunitario. (EPA, 2001).

Según la OMS (2003), desde comienzo de los años setenta se ha detectado en el mundo un incremento bastante considerable de cánceres de piel en poblaciones de piel clara, esto debido a la costumbre de las personas a la exposición a la luz solar y a su componente ultravioleta. Cada año se producen en el mundo entre dos y tres millones de cáncer de piel no melánico y aproximadamente 132,000 casos de cáncer de piel melánico, además, entre 12 y 15 millones de personas padecen de ceguera causada por cataratas, se estima que hasta un 20% de estos casos de ceguera, pueden haber sido causados o haberse agravado por la exposición al sol.

En Nicaragua, en un estudio realizado por Wilson y Zapata (2002) sobre el “Comportamiento y Manejo de Cáncer de Piel en Centros Hospitalarios de Managua, León y Chinandega; basado en la recopilación de datos registrados de Enero de 1996 a Junio de 2001 se obtuvieron los siguientes resultados: Las consultas por carcinomas cutáneos en el Centro Nacional de Dermatología (CND) han tenido un ascenso paulatino a través de los años, encontrando en 1996, 342 consultas anuales (47 casos nuevos); en 1997, 370 consultas anuales (67 casos nuevos); 1998, 339 consultas anuales (51 casos nuevos); 1999, 390 consultas (52 casos nuevos); en el año 2000, 564 consultas (89 casos nuevos)”. Esto indica un claro incremento año tras año de la cantidad de pacientes diagnosticados con cáncer de piel en este país.

Por medio de este trabajo, se diseñará y construirá el primer prototipo de Solmáforo (medidor del índice de radiación ultravioleta solar mundial) en Nicaragua; que de ser implementado, servirá como un medio para hacer consciencia en la población y advertirles de la necesidad de adoptar medidas de fotoprotección cuando se exponen a la radiación ultravioleta.

“Se necesitan urgentemente programas de protección solar para dar a conocer mejor los peligros para la salud de la radiación UV y para lograr cambios de los estilos de vida que frenen la tendencia al aumento continuo de los casos de cáncer de piel. El índice UV solar mundial debe constituir un componente importante de un enfoque de salud pública integrado y a largo plazo para la protección solar”. (OMS, 2003). De su implementación, se estaría contribuyendo a que Nicaragua tenga su propio programa de protección solar, tal y como lo menciona la OMS.

Por medio de este trabajo, se contribuiría al cumplimiento de la misión de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) puesto que se estarían generando y difundiendo “conocimientos con conciencia social, ética y humanística, con la finalidad de contribuir a la transformación tecnológica y al desarrollo sustentable de Nicaragua y la región Centroamericana”.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo General**

- Implementar un sistema, SOLMÁFORO, que mida y alerte sobre la radiación solar de rayos Ultravioleta (UV) respetando los niveles establecidos de exposición UV según la Organización Mundial de la salud (OMS).

### **4.2 Objetivos Específicos**

- Medir las variables meteorológicas: Índice de Radiación Ultravioleta, Temperatura y Humedad Relativa.
- Mostrar en un display de 7 segmentos la hora oficial del país, la medición de la Temperatura y la Humedad Relativa.
- Presentar por medio de señales luminosas, SOLMÁFORO, el Índice de Radiación Ultravioleta (UVI) haciendo uso del código de colores establecido por la OMS.
- Mostrar por medio de un letrero el sistema de protección solar recomendado por la OMS.
- Implementar un servidor de base de datos, con consulta desde página web, donde se puedan monitorizar las mediciones de los sensores del Solmáforo desde una red local.

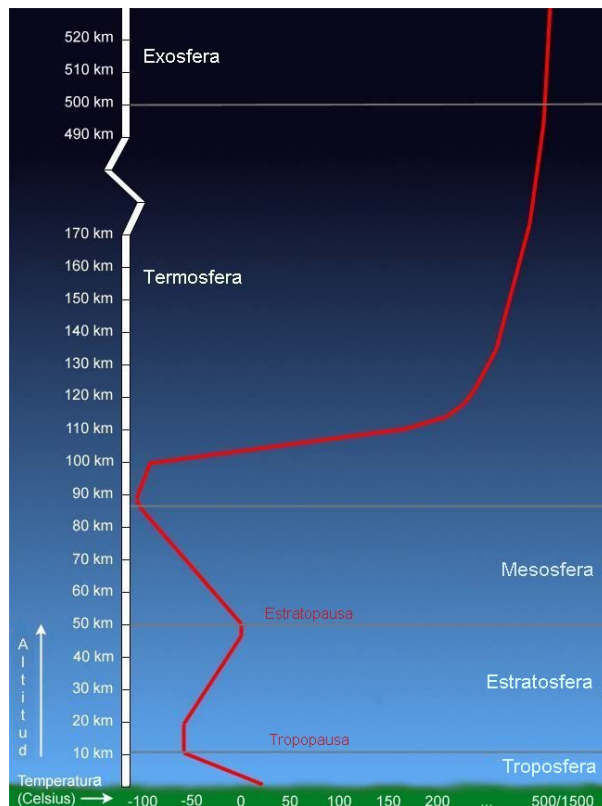
## 5 MARCO TEÓRICO

### 5.1 Cambio climático

#### 5.1.1 La atmósfera, su composición y estructura

Camilloni y Vera (s.f.) definen a la atmósfera como:

Una cobertura gaseosa compuesta principalmente por nitrógeno ( $N_2$ ) y oxígeno ( $O_2$ ) molecular, con pequeñas cantidades de otros gases, como vapor de agua ( $H_2O$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Además del nitrógeno, el oxígeno, el vapor de agua y el dióxido de carbono, que son los gases principales; la atmósfera contiene otros en menor proporción que afectan el clima. Los más importantes son el ozono ( $O_3$ ), el metano ( $CH_4$ ), los óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) y los clorofluorocarbonos. (p. 3).



**Figura 1. Capas que forman la atmósfera**

Recuperado de <http://bit.ly/2uMJTOB>

Para efectos prácticos y de estudio, la atmósfera se ha dividido en zonas o capas en relación con la variación de la temperatura con la altura. En la Tabla 1 se pueden observar las características de cada una de las zonas en las que se divide la atmósfera, así mismo; en la Figura 1 pueden observarse la altitud y la temperatura de cada una de las mismas.

**Tabla 1:**

Descripción de las capas que componen la atmósfera.

Capa	Descripción
<b>Tropósfera</b>	Es la capa de aire que está en contacto con la superficie terrestre, en ella se concentra el 80% del peso de la atmósfera. Se extiende en promedio hasta 12 km de altura y la temperatura disminuye a una tasa promedio de 6.5°C/km. Esta capa es la más importante para la meteorología ya que es en ella donde se producen las nubes, las lluvias, las tormentas, los vientos, etc., además sirve como un regulador térmico del planeta (sin ella, las diferencias térmicas entre el día y la noche serían tan grandes que no habría posibilidades de sobrevivir). El límite superior de esta capa se llama tropopausa, la temperatura deja de disminuir y es de aproximadamente -55°C.
<b>Estratósfera</b>	Esta capa se extiende hasta los 45 km de altura, la temperatura aumenta con la altura hasta aproximadamente 0°C en su límite superior denominado estratopausa. En esta capa se encuentra la Ozonósfera, en la cual, los rayos ultravioletas provenientes del sol transforman el oxígeno del aire en ozono y éste los absorbe. La concentración máxima de ozono en la Ozonósfera tiene lugar a unos 40 km de altitud y forma una especie de capa protectora llamada ozonósfera. Esta faja produce la dispersión de la luz solar y hace que veamos el cielo de color azul (cuando es negro en realidad). Gracias a la ozonósfera es posible la vida en la Tierra pues absorbe la mayoría de los rayos ultravioletas.
<b>Mesósfera</b>	Es la capa que está encima de la Estratósfera y directamente debajo de la Termósfera, su límite superior es la Mesopausa que puede ser el lugar más frío de origen natural en la Tierra. Esta capa contiene solo el 0.1% de la masa total del aire y se observan las estrellas fugaces que son meteoros que se han desintegrado en la termósfera.

---

### **Termósfera**

La Termósfera también llamada Ionósfera es la capa de la atmósfera que se encuentra entre la Mesósfera y la Exósfera, en ella, la radiación ultravioleta, pero sobre todo los rayos Gamma y rayos X provenientes del Sol provocan la ionización de átomos de sodio y moléculas; debido a esta reacción, la temperatura de la Termósfera puede ascender hasta los 1500°C. Sin embargo, no hay suficientes moléculas de gas para transmitir el calor, por lo tanto, la sensación de calor no se corresponde con las elevadas temperaturas. Esta capa contribuye principalmente a la reflexión de las ondas de radio emitidas desde la superficie terrestre. Además, en las regiones polares las partículas cargadas por el viento solar son atrapadas por el campo magnético terrestre incidiendo sobre la parte superior de la Ionósfera, formando así las auroras.

### **Exósfera**

Es la capa más externa de la atmósfera, esta capa separa a la atmósfera del espacio exterior. En esta franja orbitan algunos satélites meteorológicos y otros satélites artificiales. En la Exósfera el concepto de temperatura desaparece, ya que la densidad del aire es casi despreciable.

---

**Nota.** Fuente: Adaptado de Camilloni y Vera (s.f.). *La atmósfera* (p. 4). Argentina: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología. NasaSpacePlace (2015) *Atmósfera de la Tierra*.

### **5.1.2 Efecto invernadero**

El efecto invernadero es un fenómeno atmosférico natural que permite mantener una temperatura agradable en el planeta. Según Milán (2009), la radiación solar calienta la superficie de la tierra porque la atmósfera es “transparente” a los rayos del sol y al calentarse, el planeta emite radiación terrestre. Los gases de efecto invernadero que existen en la atmósfera absorben y reemiten la radiación terrestre la cual es infrarroja (contiene calor) y la atmósfera



se calienta. Es necesario destacar que “el efecto invernadero en la atmósfera constituye indiscutiblemente un fenómeno real y natural (entendiendo como natural una situación independiente de las actividades humanas) que permite que las temperaturas de la superficie terrestre sean las adecuadas para la vida” (Camilloni & Vera, s.f., p. 6).



**Figura 2. Efecto invernadero**  
Recuperado de <http://bit.ly/2uMxVo4>

### 5.1.3 Gases de efecto invernadero

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) son los responsables del llamado efecto invernadero, estos gases son los que componen la atmósfera terrestre, y existen de forma natural, sin embargo, hoy en día, las actividades humanas están alterando la concentración atmosférica de los mismos. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2003) afirma que “el aumento antropogénico<sup>2</sup> de la concentración atmosférica de los GEI está amplificando el efecto invernadero” (p. 9).

Glynn y Heinke (1999) mencionan que “en la medida que crece la concentración de GEI, aumenta la capacidad de la atmósfera para absorber y re-emitir ondas

<sup>2</sup> Antropogénico: Se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas, a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana.

infrarrojas hacia la Tierra produciéndose un forzamiento radiactivo del sistema climático, que se traduce en el aumento de la temperatura superficial” (Milán, 2009, p. 29).

Milán (2009) menciona que:

Todo proceso relacionado con la emisión de cualquier sustancia a la atmósfera lleva implícito el análisis de tres aspectos que son:

- **La fuente:** que se refiere al punto o lugar donde un gas, o contaminante, es emitido o sea donde entra a la atmósfera.
- **El sumidero o reservorio:** es un punto o lugar en el cual el gas es removido de la atmósfera, o por reacciones químicas o por absorción en otros componentes del sistema climático, incluyendo océanos, hielos y tierra.
- **El ciclo de vida:** es el período de tiempo promedio durante el cual una molécula de contaminante se mantiene en la atmósfera. Esto se determina por las velocidades de emisión y de captación en los reservorios o sumideros. (p. 26).

**Tabla 2:**

Principales características de los gases de efecto invernadero

Nombre del gas	Breve descripción	Emisión antropogénica	Tiempo de vida
Dióxido de Carbono	Se libera desde el interior de la Tierra a través de fenómenos tectónicos y a través de la respiración, procesos de suelos, combustión de compuestos con carbono y la evaporación oceánica.	Quema de combustibles fósiles, cambios en el uso de los suelos (principalmente deforestación), quema de biomasa, industrias y producción de energía termoeléctrica, etc...	Entre 50 y 200 años
Metano	El metano es producido principalmente a través de procesos anaeróbicos tales como los cultivos de arroz o la digestión animal. Es destruido en la baja atmósfera por reacción con radicales hidroxilo libres (-OH).	A través de cultivos de arroz, quema de biomasa, quema de combustibles fósiles, basureros a cielo abierto y el aumento de rumiantes como fuente de carne.	10 años

Óxido nitroso	El óxido nitroso (N <sub>2</sub> O) es producido por procesos biológicos en océanos y suelos.	Procesos antropogénicos que incluyen combustión industrial, gases de escape de vehículos de combustión interna, etc.	120 años
Ozono	En la estratósfera filtra los rayos ultravioleta dañinos para las estructuras biológicas, es también un gas invernadero que absorbe efectivamente la radiación infrarroja.	Puede ser generado por complejas reacciones fotoquímicas asociadas a emisiones antropogénicas y constituye un potente contaminante atmosférico en la troposfera superficial.	Días o semanas
Halo-carbonos	Clorofluoro-carbonos: compuestos mayormente de origen antrópico, que contienen carbono y halógenos como cloro, bromo, flúor y a veces hidrógeno.	Los Clorofluoro-carbonos (CFC) comenzaron a producirse en los años 30 para la refrigeración. Posteriormente, se usaron como propulsores para aerosoles, en la fabricación de espuma, etc...	Por la larga vida que poseen, son gases invernadero miles de veces más potentes que el CO <sub>2</sub> .
	Drocloro-fluorocarbonos (HCFC) e Hidro-fluorocarbonos (HFC):	Compuestos de origen antrópico que están usándose como sustitutos de los CFC, sólo considerados como transicionales, pues también tienen efectos de gas invernadero.	

**Nota.** Fuente: Adaptado de Milán (2009), *Apuntes sobre el cambio climático en Nicaragua* (pp. 26-27). Managua: José Antonio Milán Pérez.

#### 5.1.4 El calentamiento global

“El calentamiento global consiste en el aumento de la temperatura de la superficie terrestre como consecuencia de la potenciación del efecto invernadero natural” (Camilloni y Vera (s.f.), p. 13).

Milán (2009) expresa que:

Desde la revolución industrial hasta los días actuales, se ha producido un aumento aproximado de un 25% en la concentración atmosférica de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), también un 19% de óxidos nitrosos, un 100% de metano

y más de un 200% de los peligrosos Clorofluorocarbonos (CFC). Todos estos gases son los causantes del llamado “efecto invernadero”. Esto ha traído como consecuencia que la temperatura media del planeta se ha elevado 0.8 grados centígrados con respecto a los niveles que existían antes de la revolución industrial. (p. 20).

Las emisiones de GEI de Nicaragua representan el 0.01% de las emisiones totales del mundo. De los países de Mesoamérica, Nicaragua es el que reporta la menor cantidad de emisiones per cápita. Por tanto, las emisiones de Nicaragua son estadísticamente despreciables en comparación con el servicio ambiental prestado por el país desde 1750 como sumidero, porque captaba más Dióxido de carbono del que emitía. Para Nicaragua, la principal prioridad debe ser la adaptación para enfrentar la elevada vulnerabilidad que tiene el país ante los efectos del cambio climático. La adaptación al cambio climático no es una opción, sino es un camino forzoso. Para referirse al tema, el señor Kof Anan, ex secretario general de las Naciones Unidas expresó: “los países más vulnerables son los menos capaces de protegerse a sí mismos. También son los que menos contribuyen a las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Si no se toman medidas, pagarán un alto precio por las actividades de otros” (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2007; Milán, 2009).

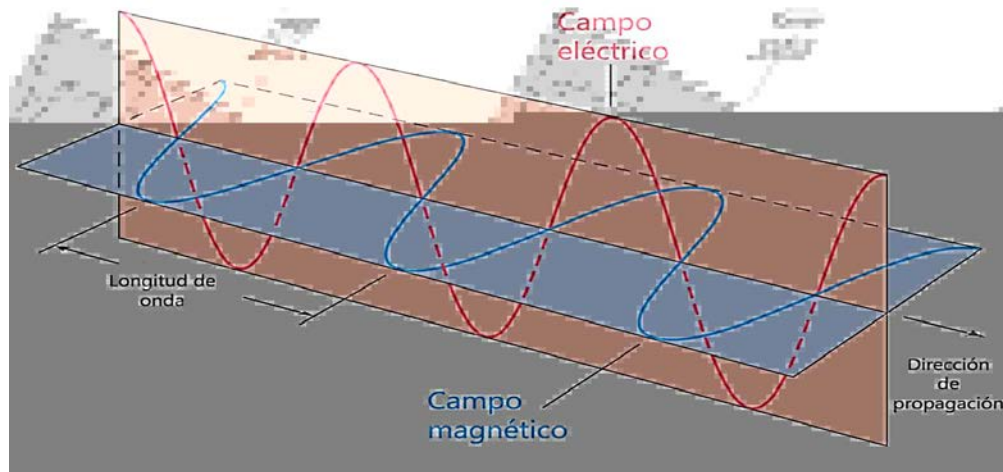
## **5.2 Ondas electromagnéticas**

Se define la propagación como un mecanismo de transporte de energía en el espacio y en el tiempo. Una onda es una propagación de una perturbación de alguna propiedad en un medio determinado.

Una onda electromagnética, es la propagación simultánea de los campos eléctrico y magnético, producido por una carga eléctrica en movimiento. Las principales características de una onda electromagnética son las siguientes:

- **No necesitan un medio material para propagarse:** Pueden propagarse en el vacío o en cualquier otro medio.
- **Son tridimensionales:** Se propagan en las tres direcciones del espacio.

- **Son transversales:** La perturbación se produce perpendicularmente a la dirección de propagación.



**Figura 3. Representación de una onda electromagnética.**

Recuperado de: <https://bit.ly/2rrOtOK>

Al flujo saliente de energía de una fuente en forma de ondas electromagnéticas se le denomina radiación electromagnética. Esta radiación puede ser de origen natural o artificial. Radiación significa simplemente energía transmitida por ondas. Debido a que las perturbaciones eléctricas y magnéticas se dispersan o irradian desde la fuente, se utiliza de manera indistinta el término “radiación electromagnética” o el de “ondas electromagnéticas”. (Luque Ordóñez, s.f.; Young & Freedman, 2009).

La velocidad de propagación de la radiación electromagnética en el vacío es igual a  $c$  (donde  $c=299\,792\,458$  m/s y corresponde a la velocidad de la luz).

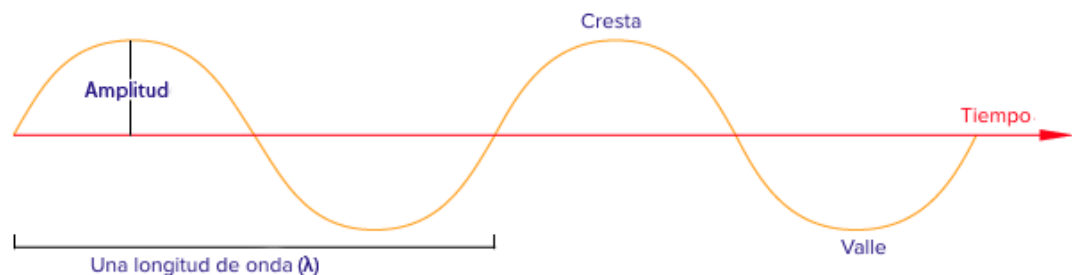
La teoría electromagnética establece que:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (1)$$

Donde  $\epsilon_0$  y  $\mu_0$  corresponden a la permitividad eléctrica y la permeabilidad magnética respectivamente. La velocidad de la luz en un medio distinto al vacío siempre será inferior a  $c$ . (Young & Freedman, 2009; Hansson Mild, s.f.).

Las ondas electromagnéticas, al igual que las ondas mecánicas tienen tres propiedades básicas que son: Amplitud, longitud de onda y frecuencia.

- **Amplitud:** Una onda tiene un valle (punto más bajo) y una cresta (punto más alto). La distancia central entre la punta de la cresta y el eje central de la onda se conoce como amplitud.
- **Longitud de onda:** Es la distancia horizontal entre dos crestas o valles consecutivos.
- **Frecuencia:** Se define como el número de cambios completos por segundo del campo eléctrico o magnético en un punto dado.



**Figura 4. Características principales de una onda**  
Recuperado de <http://bit.ly/2oiNxIz>

La frecuencia, la longitud de onda y la velocidad de la onda están relacionados en la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2)$$

Donde  $\lambda$  es la longitud de la onda (en metros),  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío (en m/s), y  $f$  es la frecuencia de la onda (en Hertz).

La transferencia de energía de una onda electromagnética se describe por el vector de Poynting, que representa la magnitud y dirección del flujo electromagnético. Puede definirse como el producto vectorial del campo eléctrico y el campo magnético, y su módulo es la intensidad de la onda.

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B} \quad (3)$$

Donde  $\vec{S}$  es el vector de Poynting,  $\vec{E}$  representa el campo eléctrico,  $\vec{H}$  representa el campo magnético,  $\vec{B}$  representa el campo de inducción magnética y  $\mu_0$  representa la permeabilidad magnética en el vacío.

Como  $\vec{E}$  y  $\vec{B}$  son perpendiculares, la magnitud de  $\vec{S}$  es:

$$|\vec{S}| = \frac{EB}{\mu_0} \quad (4)$$

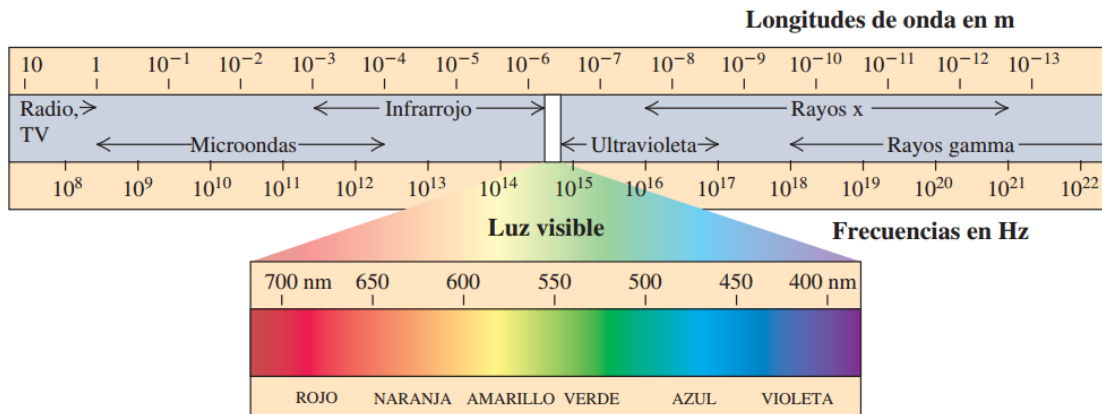
Éste es el flujo de energía por unidad de área y por unidad de tiempo a través de un área de sección transversal perpendicular a la dirección de propagación. La magnitud del vector de Poynting se expresa en vatios por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>). (Young & Freedman, 2009; Hansson Mild, s.f.).

### 5.2.1 El espectro electromagnético

Es la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas, éste se extiende desde las radiaciones de menor longitud de onda (como los rayos Gamma) hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda (como las ondas de radio). Es el conjunto de ondas electromagnéticas que se encuentran ordenadas de acuerdo a su longitud de onda ( $\lambda$ ) y frecuencia ( $f$ ). (Luque Ordóñez, s.f.; Young & Freedman, 2009).

El ser humano solo puede detectar directamente una parte muy pequeña del espectro con el sentido de la vista, a ese intervalo se le denomina luz visible y sus longitudes de onda van de los 400 a los 700nm (400 a 700 x 10<sup>-9</sup> m). Las distintas longitudes de onda del espectro visible evocan en los humanos las sensaciones de los diferentes colores. En la Figura 5 se puede observar una representación del espectro electromagnético en una escala logarítmica, las fronteras entre las bandas son un poco arbitrarias.





**Figura 5. El espectro electromagnético**

Fuente: Young & Freedman, 2009

### 5.2.2 La naturaleza de la luz

Hasta la época de Isaac Newton (1642-1727) la comunidad científica pensaba que la luz consistía en corrientes de partículas (llamadas corpúsculos<sup>3</sup>) emitidas por las fuentes luminosas. Alrededor de 1665 se comenzaron a descubrir evidencias de las propiedades ondulatorias de la luz, para el siglo XIX las evidencias de que la luz es una onda eran muy convincentes. En 1873, James Clerk Maxwell predijo la existencia de las ondas electromagnéticas y calculó su rapidez de propagación, el trabajo de Maxwell junto con los trabajos experimentales que desarrolló Heinrich Hertz en 1887 demostraron en forma concluyente que la luz es una onda electromagnética.

Sin embargo, la concepción ondulatoria de la luz no ofrece una visión completa sobre su naturaleza, los efectos relacionados con su emisión y absorción revelan un aspecto de partícula (en el sentido en que la energía transportada por las ondas luminosas se encuentra contenida en paquetes discretos llamados fotones o cuantos<sup>4</sup>), estas propiedades de onda y partícula establecen una aparente contradicción, sin embargo, en 1930 con el desarrollo de la electrodinámica cuántica (una teoría integral que incluye tanto las propiedades ondulatorias como las corpusculares) éstas contradicciones desaparecieron y se desarrolló la teoría de la dualidad onda-partícula (dualidad onda-corpúsculo).

<sup>3</sup> Corpúsculo: Porción muy pequeña, generalmente microscópica, de materia.

<sup>4</sup> Cuanto: Valor mínimo que puede tomar una magnitud en un sistema físico.



Stephen Hawking (2001) considera que la dualidad onda-partícula es un “concepto de la mecánica cuántica según el cual no hay diferencias fundamentales entre partículas y ondas: las partículas pueden comportarse como ondas y viceversa”.

El fotón es la partícula elemental responsable de las manifestaciones cuánticas del fenómeno electromagnético, es la partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética, debido a que el fotón es un cuanto, presenta las propiedades de la dualidad onda-corpúsculo. El fotón fue llamado originalmente por Albert Einstein como “cuanto de luz” y tiene una masa invariante cero y viaja en el vacío con una velocidad invariante  $c$ .

Un fotón al interactuar con la materia transfiere una cantidad de energía fija que viene dada por:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = h\nu \quad (5)$$

Donde  $h$  es la constante de Planck ( $h = 4.136 \cdot 10^{-15} \text{ eV.s}$ ),  $c$  es la velocidad de la luz,  $\lambda$  es la longitud de onda y  $\nu$  la frecuencia de la onda.

La Ecuación 5, establece que la energía aportada por las ondas luminosas no depende de su intensidad (como establecía la teoría ondulatoria de Maxwell) sino que depende de su frecuencia (a mayor frecuencia, mayor energía). (Young & Freedman, 2009; Boscá, FÍSICA CUÁNTICA EN LA RED, 2014).

### 5.3 Radiaciones

La radiación es el transporte o la propagación de energía en forma de partículas u ondas. Si la radiación es debida a fuerzas eléctricas o magnéticas se llamada radiación electromagnética. (González & Rabin, 2011).

Como los autores expresaban en el acápite anterior, las ondas electromagnéticas son transportadas por partículas llamadas cuantos de luz (fotones). Los cuantos de luz de ondas con frecuencias más altas (longitudes de onda más cortas) transportan mayor energía que los de las ondas de menor frecuencia (longitudes de ondas más largas).

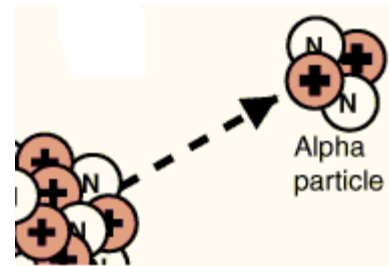
Algunas ondas electromagnéticas transportan tanta energía por cuanto de luz, que son capaces de romper los enlaces entre las moléculas, a éste tipo de radiación se le conoce como ionizante y a la radiación compuesta por cuantos de luz sin la energía suficiente para romper los enlaces moleculares se le conoce como no ionizante. (OMS, 2011).

### 5.3.1 Radiación ionizante

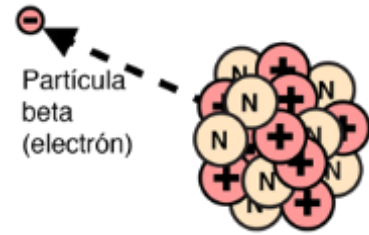
Las radiaciones ionizantes son fotones o partículas emitidas por elementos radioactivos o en procesos atómicos que poseen energía suficiente como para ionizar átomos o moléculas, los tipos más comunes de radiación ionizante son los generados por fotones con energía superior a 10keV.

Según González y Rabin (2011), las radiaciones ionizantes pueden clasificarse de la siguiente manera:

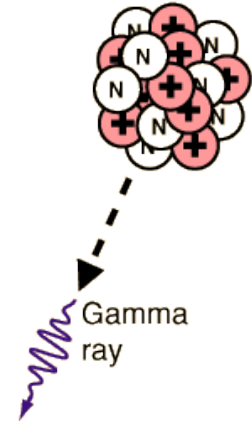
- **Radiación  $\alpha$  (alfa):** Compuesta por dos protones y dos neutrones, la partícula alfa es un núcleo del elemento Helio. Debido a su masa muy grande tiene muy corto alcance y no es adecuada para terapias de radiación. Su principal peligro se produce cuando se ingiere en el cuerpo ya que tiene un gran poder destructivo dentro de su corto rango. En contacto con membranas de rápido crecimiento y células vivas, se produce el máximo daño.



- **Radiación  $\beta$  (beta):** Son exactamente electrones del núcleo, tienen una carga negativa y una masa muy pequeña, por ello reaccionan menos frecuentemente con la materia que las alfa pero su poder de penetración es mayor que en estas (casi 100 veces más penetrantes).

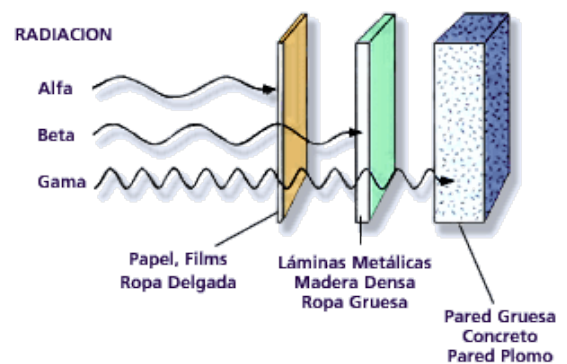


- **Radiación  $\gamma$  (gamma):** Está compuesta de rayos electromagnéticos y se distinguen de los rayos X solamente por el hecho de que provienen del núcleo. La mayoría de los rayos gamma son más energéticos que los rayos X y por lo tanto son más penetrantes. Es el tipo más útil de radiación para uso médico, pero al mismo tiempo es el más peligroso debido a su capacidad de penetrar en grandes espesores de material.



- **Radiación neutrónica:** Es la emisión de neutrones en procesos nucleares.
- **Rayos X:** Son fotones de alta energía que se producen cuando los electrones atómicos cambian de órbita o cuando inciden electrones sobre un material y son frenados.

La radiación ionizante puede transferir su energía a las moléculas que constituyen el cuerpo humano, esto puede traducirse en un daño significativo si la interacción es con las moléculas de ADN. Los daños pueden ser agudos e inmediatos como quemaduras, hemorragias, diarreas, infecciones o hasta la muerte; también existen efectos tardíos como el cáncer o efectos hereditarios. (Instituto de Salud Pública de Chile [ISPCH], s.f.).



**Figura 6. Poder de penetración de las radiaciones ionizantes.**

Recuperado de: <http://bit.ly/1gNWSff>

Si bien la radiación ionizante puede ser perjudicial, también tiene muchas aplicaciones beneficiosas. El uranio radiactivo genera electricidad en centrales nucleares. En medicina, los rayos X permiten obtener radiografías para el diagnóstico de lesiones y enfermedades internas. Los médicos especializados en medicina nuclear utilizan material radiactivo como trazadores para formar imágenes detalladas de estructuras internas y estudiar el metabolismo. En la actualidad se dispone de radiofármacos terapéuticos para tratar trastornos como el hipertiroidismo y el cáncer. Los médicos utilizan en radioterapia rayos gamma, haces de piones, haces de electrones, neutrones y otros tipos de radiación para tratar el cáncer. Los beneficios siempre deben superar a los riesgos cuando se trate de utilizar la radiación ionizante. (Cherry, s.f.).

### 5.3.2 Radiación no ionizante

La radiación no ionizante (RNI) engloba toda la radiación y los campos del espectro electromagnético que no tienen suficiente energía para ionizar la materia. La RNI no es capaz de suministrar la energía suficiente a un átomo o molécula para alterar su estructura.

La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés) clasifica la radiación no ionizante de la siguiente manera:

- **Luz visible:** La luz visible es el conjunto de radiaciones electromagnéticas capaces de excitar la retina humana y crear la sensación de los colores. Como magnitud física es la energía radiante de longitudes de onda comprendidas entre los 380 nm y los 770 nm del espectro electromagnético, los límites de este espectro representan promedios obtenidos experimentalmente, porque, en realidad, pueden variar de un individuo a otro.
- **Radiación ultravioleta (RUV):** Es una forma de radiación óptica de longitudes de onda más cortas y fotones más energéticos que los de la luz visible. Sus longitudes de onda están comprendidas entre los 100nm y los 400nm.

- **Radiación infrarroja (IR):** Es la parte del espectro de radiación no ionizante comprendida entre las microondas y la luz visible. Sus longitudes de onda están comprendidas entre 780nm y 1mm.
- **Campos de radiofrecuencia y microondas:** Las radiofrecuencias oscilan entre 10 kHz (longitud de onda de 3 km) y 300 GHz (longitud de onda de 1 mm). Las microondas están incluidas en las bandas de radiofrecuencias.
- **Campos eléctricos y magnéticos de VLF y ELF:** Los campos eléctricos y magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF) y de muy baja frecuencia (VLF) abarcan el intervalo de frecuencias de 0 a 300 Hz para ELF y de 300 a 30 kHz para VLF. (Klave et al., s.f.).

### 5.3.3 Radiación solar

El Sol es una gran esfera de materia gaseosa muy caliente con un diámetro de  $1.39 \times 10^6$  km, masa de  $2 \times 10^{30}$  kg y una distancia media de  $150 \times 10^6$  km de la Tierra. La temperatura cerca del centro del sol se estima en  $15 \times 10^6$  K. La mayor parte de la salida de energía del sol es en forma de radiación electromagnética. El porcentaje de radiación solar recibida en el límite superior de la atmósfera terrestre, conocida como radiación extraterrestre puede observarse en la Tabla 3.

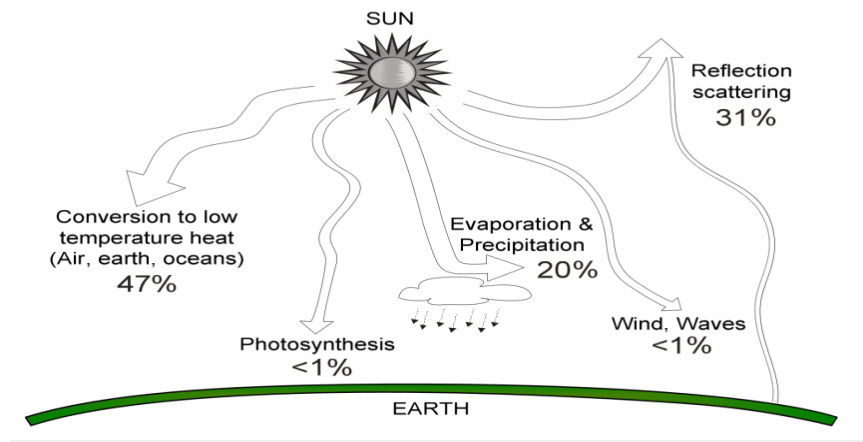
**Tabla 3:**  
Porcentaje de radiación solar extraterrestre

Región espectral	Porcentaje de radiación solar
Ultravioleta	7%
Luz visible	47.3%
Infrarrojo	45.1%

**Nota.** Fuente: Adaptado de Petros Axaopoulos (s.f.). *El Sol y su Radiación* (p.4).

La tasa de emisión de energía del sol es  $3.8 \times 10^{23}$  kW, de esta cantidad, la superficie de la Tierra recibe alrededor de  $1.7 \times 10^{14}$  kW, esto significa que en menos de una hora llega a la Tierra la energía suficiente para satisfacer la demanda energética total de la población humana durante todo un año. La distribución media de la energía recibida se muestra en la Figura 7, el 23% de la radiación se refleja y se dispersa principalmente por las nubes, el 31% se refleja por la superficie de la tierra, 47% es convertido en calor de baja temperatura, 20% da energía el ciclo de evaporación y precipitación de la Biósfera, y menos del 2%

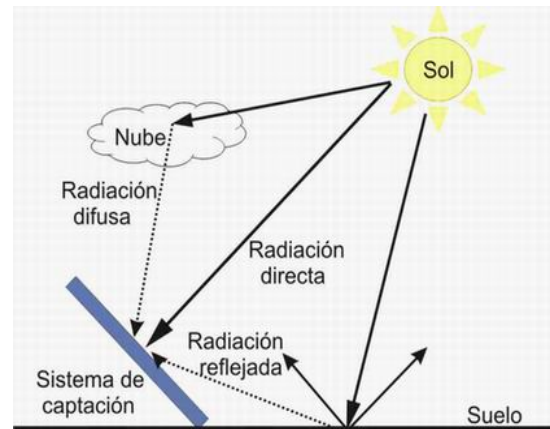
se transforma en la energía cinética de los vientos, las olas y la fotosíntesis de las plantas. (Axaopoulos, s.f.).



**Figura 7. Distribución promedio de la irradiación solar sobre la Tierra**  
Fuente: Petros Axaopoulos (s.f.)

#### 5.3.3.1 Componentes de la radiación solar

- **Radiación directa:** Es aquella que proviene directamente del Sol.
- **Radiación difusa:** Es aquella que procede de toda la bóveda celeste, excepto la que llega del Sol. Originada por los efectos de dispersión de los componentes atmosféricos, incluidas las nubes.



**Figura 8. Componentes de la radiación solar**

Recuperado de: <http://bit.ly/2jqDT8Y>

- **Radiación reflejada:** Radiación incidente en la superficie que procede de la reflejada por el suelo. Al cociente entre la radiación reflejada y la radiación incidente en la superficie de la tierra se le llama Albedo.
- **Radiación global:** Es la suma de las componentes directa, difusa y reflejada.

Para cuantificar la radiación solar, se utilizan dos magnitudes que corresponden a la potencia y a la energía de la radiación que llegan a una unidad de superficie,

se denominan irradiancia e irradiación y sus definiciones y unidades son las siguientes:

- **Irradiancia:** Se define como la potencia (energía/tiempo) que incide sobre un área determinada por longitud de onda. Indica la intensidad de la radiación solar. Se mide en vatios por metro cuadrado ( $\text{W/m}^2$ ).
- **Irradiación:** Integración o suma de las irradiancias en un periodo de tiempo determinado. Es la cantidad de energía solar recibida durante un periodo de tiempo. Se mide en julios por metro cuadrado por un periodo de tiempo ( $\text{J/m}^2$  por hora, día, semana, mes, año, etc., según el caso). (Díaz, s.f.)

### 5.3.3.2 Instrumentos de medida de la radiación solar

Para la medida de la radiación solar se utilizan los radiómetros, los cuales pueden ser de dos tipos: Piranómetros y Pirheliómetros.

- **Pirheliómetros:** Utilizado para la medición de la radiación solar directa total. Este instrumento debe de permanecer siempre apuntando hacia el sol, es por ello que generalmente están montados en un mecanismo seguidor solar de dos ejes. El ángulo de apertura del Pirheliómetro es de  $5^\circ$ , por consiguiente, la radiación recibida del sol está limitada a una región circunsolar y toda la radiación difusa del resto del cielo está excluida. Estos dispositivos están compensados térmicamente para minimizar su sensibilidad a las fluctuaciones de temperatura ambiente.

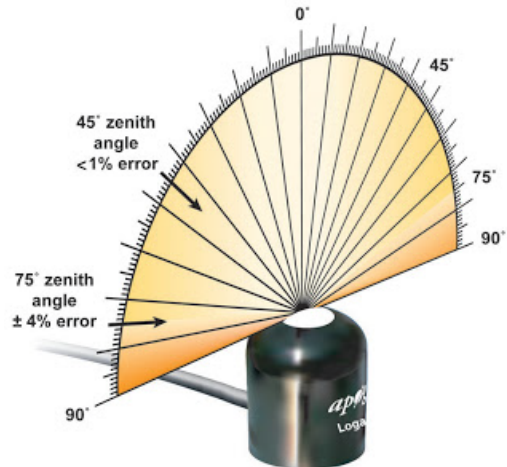


**Figura 9. Pirheliómetros**

Recuperado de: <http://bit.ly/2yy0ie4>



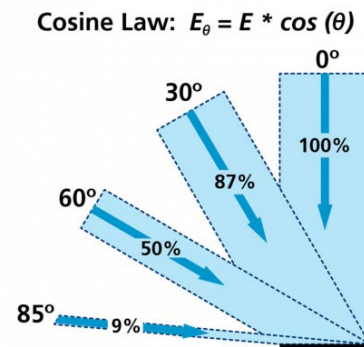
- **Piranómetros:** Los piranómetros, son instrumentos de banda ancha que miden la irradiancia solar global desde un ángulo sólido de  $2\pi$  en una superficie plana. Para hacer una medición de la irradiancia, se requiere por definición que la respuesta al flujo de radiación varíe con el coseno del ángulo de incidencia, esto asegura una respuesta completa cuando el sol incide perpendicularmente sobre el sensor (normal a la superficie, sol en su cenit, ángulo de incidencia a  $0^\circ$ ), respuesta 0 cuando el sol está en el horizonte (ángulo de incidencia de  $90^\circ$ ) y 0.5 a un ángulo de incidencia de  $60^\circ$ . De esto se desprende que un piranómetro debería tener una denominada “respuesta direccional” o “respuesta coseno” lo más parecida a la ley del coseno de Lambert. Los piranómetros que tienen difusores en lugar de cúpulas de vidrio requieren difusores precisos para proporcionar la respuesta de coseno correcta.



**Figura 10. Respuesta coseno de un piranómetro.**

Recuperado de: <http://bit.ly/2hqiP0n>

- **Ley del coseno de Lambert:** Establece que la máxima intensidad de la irradiación, sobre una superficie, se obtiene cuando el haz incide perpendicularmente sobre esta. Indica que la irradiancia medida variará con respecto al coseno del ángulo entre el eje óptico de la fuente y la normal al detector. La intensidad radiante es directamente proporcional al coseno del ángulo cenital. (Oceanoptics, s.f.; Hinckley, 2017).



**Figura 11. Ley del coseno de Lambert.**

Recuperado de: <http://bit.ly/2f7KslD>

### 5.3.3.3 Clasificación de los piranómetros

De acuerdo a las definiciones establecidas en el estándar ISO 9060, se reconocen dos tipos de tecnologías utilizadas en la



fabricación de piranómetros: Tecnología de termopila y tecnología de semiconductor de silicio.

- **Piranómetro de termopila:** Los piranómetros de termopila se basan en el efecto Seebeck. Utilizan una serie de uniones termoelectricas (uniones múltiples de dos metales disímiles-principio de termopar) para proporcionar una señal de varios  $\mu\text{V/W/m}^2$  proporcional a la diferencia de temperatura entre una superficie de absorción negra y una referencia. La referencia puede ser una superficie reflectante blanca o la parte interna de la base del sensor. La superficie negra del piranómetro térmico absorbe uniformemente la radiación solar desde los 300 hasta los 3000 nm con una respuesta plana en todo este espectro. (Hinckley, 2017).



Figura 12. Piranómetro de termopila SR11 manufacturado por Hukseflux Thermal Sensors.

Recuperado de: <http://bit.ly/2jIU814>

- **Piranómetro de fotocélula de silicio:** Los piranómetros de fotocélula de silicio generan una corriente de salida en  $\mu\text{A}$  de forma similar a como un panel solar convierte la energía del sol en electricidad. Cuando la corriente pasa a través de un resistor de derivación (shunt) se convierte en una señal de voltaje con una sensibilidad de varios  $\mu\text{V/W/m}^2$ . Se utiliza un difusor de plástico para proporcionar una respuesta de coseno uniforme en ángulos de sol variables. La respuesta espectral de los piranómetros de fotocélula de



Figura 13. Piranómetro de fotocélula de silicio LI200R manufacturado por LI-COR.

Recuperado de: <http://bit.ly/2xvw6ME>

silicio está limitada a sólo una porción del espectro solar de 0,4 a 1,1  $\mu\text{m}$ , se utilizan a menudo en todas las condiciones del cielo, pero los errores de medición son mayores cuando hay nubes. La uniformidad del espectro de luz diurna en la mayoría de las condiciones del cielo limita los errores típicamente a menos de  $\pm 3\%$ , con errores máximos de  $\pm 10\%$ . El error suele ser positivo en condiciones nubladas. Para los investigadores del medio ambiente, la precisión de los piranómetros de fotocélula de silicio es a menudo suficiente para sus necesidades. (Hinckley, 2017).

#### 5.4 Radiación ultravioleta

A comienzos del siglo XIX, Johannes Ritter descubrió que el Sol, además de luz visible, emite una radiación "invisible" de longitud de onda más corta que el azul y el violeta. Esa banda recibió el nombre de "ultravioleta". El Sol emite una gran cantidad de energía a la Tierra, de la cual sólo entre un 6% a 7% corresponde a la radiación ultravioleta (UV). Esta radiación ultravioleta es una forma de energía radiante invisible que cubre el rango de longitudes de onda entre los 100 y los 400 nanómetros y usualmente es clasificada en tres categorías que se observan en la Tabla 4.

**Tabla 4:**  
Bandas de radiación UV.

Bandas UV	Descripción
UVA (315-400nm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es la más próxima al espectro de radiación visible y la de mayor longitud de onda de las tres.</li> <li>• Es poco absorbida por la atmósfera, por lo tanto representa aproximadamente el 95% de la radiación UV que alcanza la superficie terrestre.</li> <li>• Penetran más profundamente en la dermis y causan efectos a largo plazo como arrugas, marcas y manchas de edad.</li> <li>• Estimulan la melanina mayormente responsable del bronceado y contribuyen a las quemaduras solares.</li> <li>• Es bastante atenuada por la capa de ozono, y solo representa el 5% de la radiación UV y el 0.25% de toda la radiación solar que alcanza la superficie terrestre.</li> <li>• Penetra la epidermis (la capa externa de la piel) y es absorbida en la parte superior de la dermis.</li> </ul>

UVB (280-315nm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Responsables de las quemaduras de Sol, con la formación de eritemas en la piel.</li> <li>• Daña el ADN de la piel, lo que es un factor clave en la iniciación del proceso cancerígeno.</li> <li>• Responsable de la formación de la pre-vitamina D en el cuerpo humano.</li> </ul>
UVC (100-280nm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es en teoría la más peligrosa para el hombre, afortunadamente es totalmente absorbida por la capa de ozono.</li> <li>• La UVC solo se obtiene de fuentes artificiales, tales como lámparas germicidas, que emiten la mayor parte de su energía en los 254nm y es muy eficaz para los procesos de esterilización.</li> </ul>

---

**Nota.** Fuente: Adaptado de Bengt Knave (s.f.). *Radiaciones no ionizantes*. Vallejo Delgado (2003). *Índice Ultravioleta*. Benavides Ballesteros (2010). *Información técnica sobre la Radiación ultravioleta, el índice UV y su pronóstico*.

---

#### 5.4.1 Factores que influyen en los niveles de radiación ultravioleta

Los niveles de radiación UV en la superficie de la tierra dependen de varios factores como son:

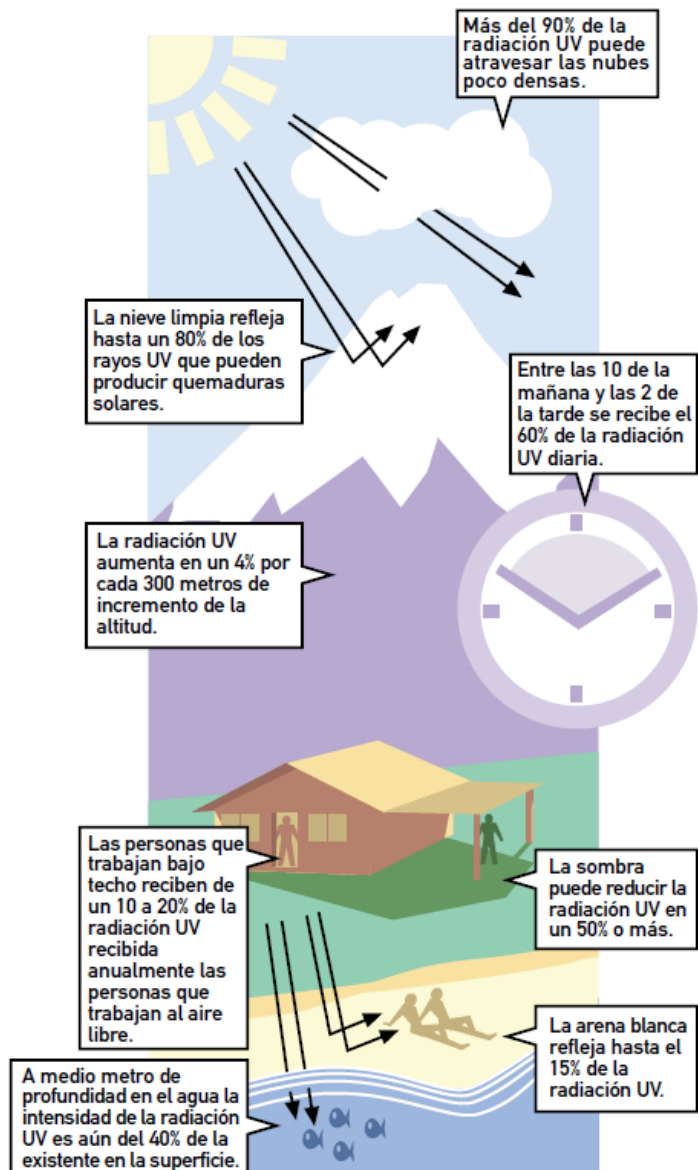
- **Elevación solar:** La elevación solar es el ángulo entre el horizonte y la dirección del sol. En ocasiones se emplea el ángulo solar cenital en lugar de la elevación solar: este es el ángulo entre el cenit y la dirección del sol. Para elevaciones solares altas, la radiación UV es más intensa, debido a que los rayos solares atraviesan un camino menor a través de la atmósfera, pasando por lo tanto por una menor cantidad de absorbentes. Los niveles de radiación UV varían durante el día y a lo largo del año, presentándose los mayores niveles cuando el sol se encuentra en su máxima elevación, esto es entre las 10 a.m. y las 2 p.m. (cerca del 60% de la radiación UV es recibida a estas horas). El albedo de la radiación UV depende poco de la elevación solar, ya que esta radiación proviene del cielo más como

radiación difusa que como radiación directa, por lo cual, al medio día el componente difuso de la radiación UV puede alcanzar el 50% de la radiación UV global.

- **Altitud:** La radiación UV aumenta con la altitud debido a que la cantidad de absorbentes en la atmósfera decrece con la altura. Las medidas demuestran que la radiación UV aumenta entre un 10% y un 12% por cada 1000m de elevación.

- **Nubosidad:** La intensidad de la radiación UV es máxima cuando no hay nubes, pero puede ser alta

incluso con nubes. La dispersión puede producir el mismo efecto que la reflexión por diferentes superficies, aumentando la intensidad total de la radiación UV. Según algunas mediciones realizadas en la Estación Actinométrica “Vadstena” de la Universidad Centroamericana (UCA) por el PhD. Julio López de la Fuente (2002), la presencia de nubes reducen las unidades diarias de radiación UV hasta en un 50% en relación a un día



**Figura 14. Factores que influyen en los niveles de radiación UV.**

Recuperado de: <http://bit.ly/2xeUjXE>

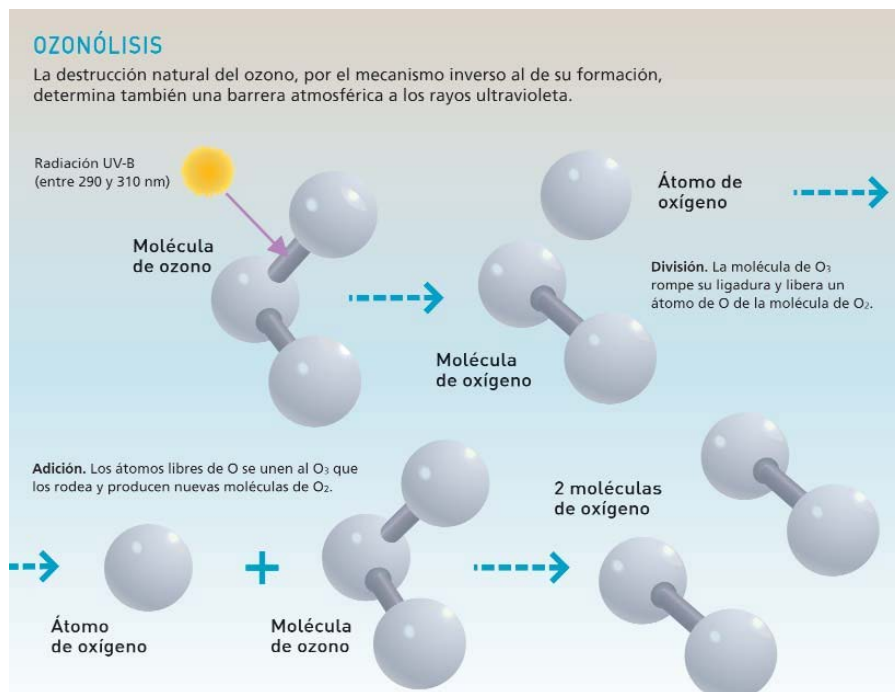
limpio y sin nubes, a pesar del aumento considerable que recibe el componente de radiación difusa.

- **Latitud:** La intensidad de los rayos solares es más fuerte en el ecuador, ya que el sol pasa por la parte más alta del cielo y la distancia recorrida por los rayos ultravioleta dentro de la atmósfera es más corta. Además, el espesor de la capa de ozono es menor en los trópicos que en las latitudes medias y altas, por lo que hay menos ozono para absorber la radiación ultravioleta mientras atraviesa la atmósfera. A latitudes más altas, el sol está más bajo en el cielo, por lo que los rayos ultravioleta deben recorrer una distancia mayor a través de las capas de la atmósfera en donde hay más ozono, y en consecuencia la radiación ultravioleta es menor en esas latitudes.
- **Reflexión:** Diferentes tipos de superficies reflejan o dispersan la radiación UV en diversa medida; por ejemplo, la nieve reciente puede reflejar hasta un 80% de la radiación UV; la arena seca de la playa, alrededor de un 15%, y la espuma del agua del mar, alrededor de un 25%. Aproximadamente un 95% de la radiación UV penetra en el agua y hasta un 50% llega a una profundidad de 3m.
- **Ozono atmosférico:** El ozono absorbe parte de la radiación UV que podría alcanzar la superficie terrestre. La concentración de ozono varía a lo largo del año e incluso del día. El nivel de radiación UV que llega a la superficie de un lugar, está inversamente relacionada con la cantidad de ozono total en la atmósfera (especialmente en la región entre los 18 y los 40 km de altura, denominada capa de ozono): a menor cantidad de ozono mayor radiación UV ingresa a la superficie. Por ello, las mayores cantidades de radiación UV se reciben en aquellas regiones donde su contenido de ozono es menor, tal como ocurre en la Antártica, en las áreas que están bajo la influencia del agujero de ozono. (OMS, 2003; Vallejo Delgado, 2003; Benavides Ballesteros, 2010; López de la Fuente, 2002).

### 5.4.2 Disminución de la capa de ozono

El ozono ( $O_3$ ) es un gas natural que se encuentra en dos capas distintas de la atmósfera, en la capa más baja (llamada tropósfera) el ozono es un contaminante que daña la salud y la vegetación y es uno de los responsables del “smog” o niebla tóxica en las ciudades, además contribuye a potenciar el efecto invernadero; éste es el denominado ozono “malo”. La capa que se encuentra por encima de la tropósfera se llama estratósfera y es allí donde se encuentra el ozono “bueno”, el cual está distribuido en una capa (que se conoce como la capa de ozono) que va desde los 12 a los 35 km de altura aproximadamente. El ozono tiene una gran influencia sobre la biósfera por su eficiente absorción de la radiación UV puesto que absorbe el 100% de la radiación UVC, el 90% de la UVB y hasta un 10% de la UVA.

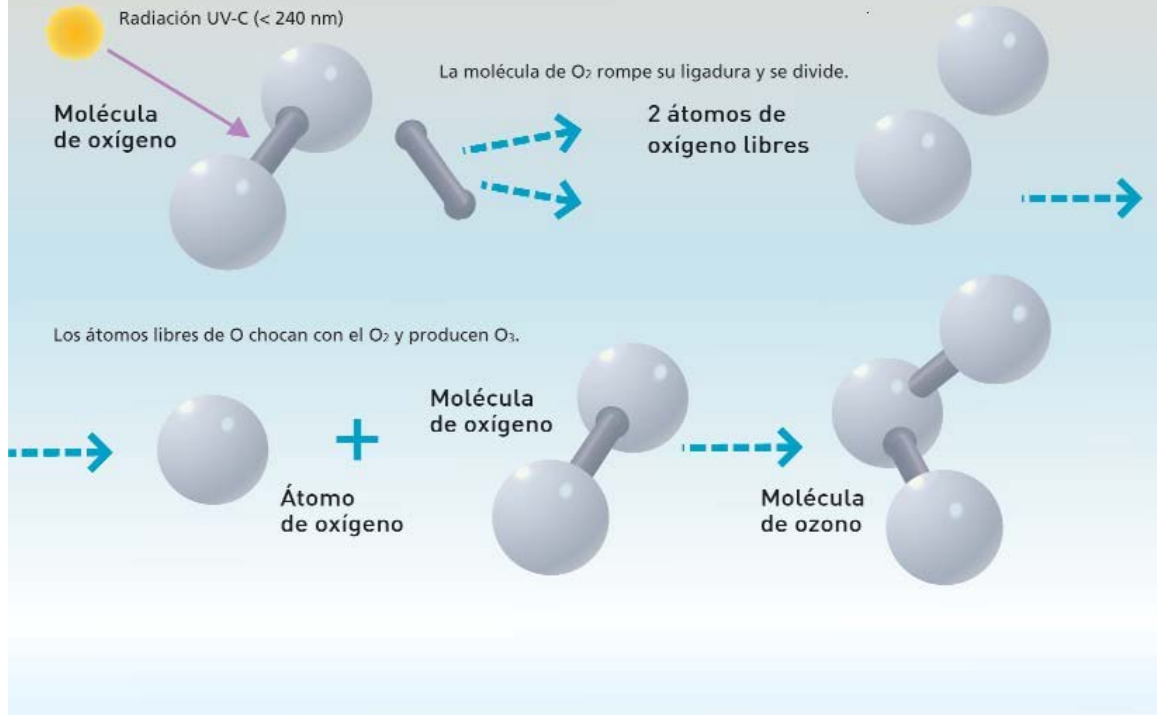
Los pasos involucrados en la destrucción natural de ozono es la estratósfera (ozonólisis) así como su producción (ozonogénesis) pueden observarse en las Figuras 15 y 16.



**Figura 15. Ozonólisis.**  
Fuente: Camilloni & Vera

## OZONOGÉNESIS

Producción natural del ozono a partir de la transformación de las moléculas de oxígeno como consecuencia de su interceptación de la radiación ultravioleta C (UV-C).



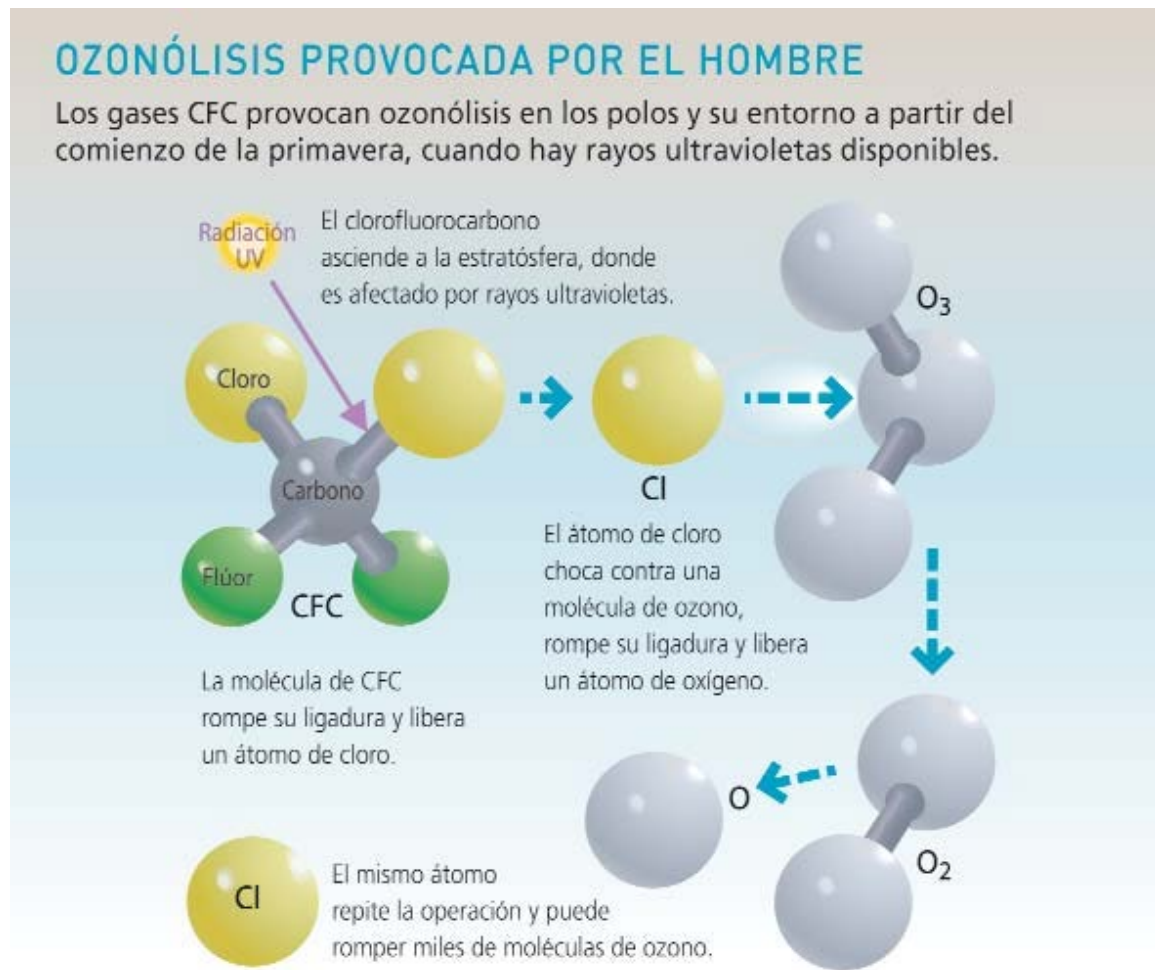
**Figura 16. Ozonogénesis.**

Fuente: Camilloni & Vera

Ahora bien, desde comienzos de la década de 1980, los científicos realizaron mediciones de la concentración del ozono estratosférico, mediciones que pudieron constatar que durante los meses de septiembre y octubre se produce una caída vertiginosa en la región antártica de la concentración de ozono. Éste fenómeno es conocido como el agujero de ozono, el cual está centrado cerca del Polo Sur y comprende toda la Antártida y mares adyacentes, el área que cubre el agujero de ozono es de millones de kilómetros cuadrados. Los científicos concluyen que los Clorofluorocarbonos (CFC) son los principales responsables del deterioro de la capa de Ozono, pues éstos están produciendo una ozonólisis antropogénica en la estratósfera.



Hasta hace poco, los CFC se usaban en muchas aplicaciones industriales, principalmente en la refrigeración, como aislantes y propolentes de aerosoles, una vez usados, se desplazan hasta la estratósfera por medio de corrientes de aire. Los CFC absorben la radiación UV, se disocian y reaccionan con el ozono, quitándole un átomo de oxígeno y formando monóxido de cloro (un compuesto altamente reactivo), de ésta forma, cada átomo de cloro, actúa como un catalizador capaz de descomponer hasta 100,000 moléculas de ozono. Es necesario hacer notar que los CFC tienen una supervivencia en la atmósfera de entre 50 y 100 años. En la Figura 17 puede observarse el proceso de ozonólisis antropogénica producida por los CFC.



**Figura 17. Ozonólisis antropogénica.**  
Fuente: Camilloni & Vera



López de la Fuente (2002) expresa que:

Una pequeña disminución de la concentración del ozono atmosférico, produciría principalmente un aumento de la intensidad de la radiación UV, sobre todo en el rango espectral  $280 < \lambda < 320 \text{ nm}$  (UVB) ... Para condiciones despejadas en la atmósfera, cada 1% de reducción en el ozono, resulta en un aumento de alrededor del 1.3% de radiación UVB que alcanza la superficie terrestre ... La disminución del ozono estratosférico podría ocasionar variaciones en la distribución de las temperaturas atmosféricas, repercutiendo en el balance energético de la atmósfera, para así generar cambios en la circulación de las masas de aire y originar trastornos climáticos. (p. 10)

#### **5.4.3 Irradiancia eritemática**

El eritema o “quemadura solar” es un enrojecimiento en la piel causado por la exposición a los rayos UV. La irradiancia eritemática expresa los efectos eritemáticos de la radiación solar, efectos biológicos que dependen directamente de la longitud de onda de los rayos UV, específicamente en las bandas UVB y UVA (puesto que la UVC es absorbida en la capa de ozono). La UVB ( $280 < \lambda < 320 \text{ nm}$ ) es unas 1,000 veces más eficaz que la UVA ( $320 < \lambda < 400 \text{ nm}$ ) como agente causante de eritema, sin embargo; el eritema producido por la UVA (de mayor longitud de onda) es más intenso y persiste durante mucho más tiempo, esto debido a que los rayos UVA penetran profundamente en la epidermis. La piel parece presentar la máxima sensibilidad a los 295 nm aproximadamente.

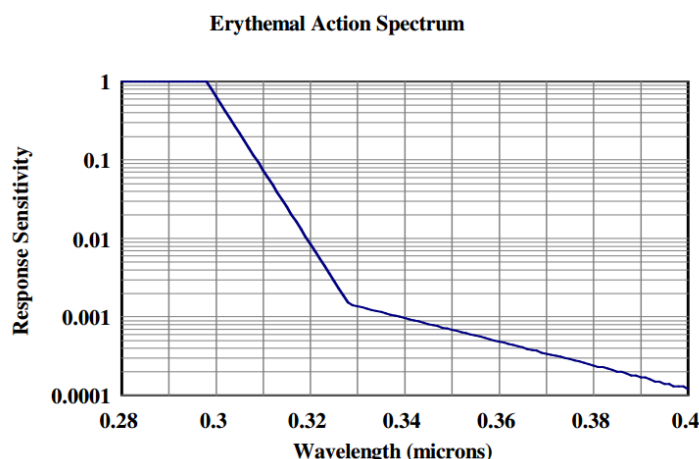
Para cuantificar los efectos biológicos de la radiación ultravioleta es necesario conocer la respuesta de los organismos vivos cuando incide sobre ellos esta radiación, debido a esto McKinlay y Diffey propusieron en 1987 el denominado coeficiente de acción eritemática. Este coeficiente espectral,  $\varepsilon(\lambda)$ , que caracteriza el efecto de eritema, es máximo a partir de los  $0.280 \mu\text{m}$  y va decreciendo a medida que aumenta la longitud de onda. Así, el poder eritemático total de la radiación se define mediante la integral de irradiancia espectral total ponderada por el coeficiente de acción eritemático. Esto se expresa como:

$$E_{eritem} = \int I(\lambda)\varepsilon(\lambda)d\lambda \quad (6)$$

$E_{eritem}$  es la irradiancia eritemática y se mide en  $W/m^2$ , y  $I(\lambda)$  es la irradiancia solar a la longitud de onda  $\lambda$  a nivel de la superficie. Los valores del coeficiente de acción eritemática  $\varepsilon(\lambda)$  están dados por:

$$\begin{aligned} \lambda < 0,298 \mu m & \quad \varepsilon(\lambda) = 1 \\ 0,328 \mu m < \lambda < 0,298 \mu m & \quad \varepsilon(\lambda) = 10^{0,094*(298-\lambda*1\ 000)} \\ 0,400 \mu m < \lambda < 0,328 \mu m & \quad \varepsilon(\lambda) = 10^{0,015*(139-\lambda*1\ 000)} \end{aligned}$$

El espectro de acción eritemática (que puede observarse en la Figura 18) es una curva de efectos sobre los seres vivos, por lo que la magnitud representada no tiene unidades físicas, se ha tomado como unidad de efectividad el valor



**Figura 18. Espectro de acción eritemática.**  
(McKinlay y Diffey, 1987)

correspondiente a  $0,300 \mu m$  ya que es la zona donde se registra el máximo poder eritemático de la radiación ultravioleta. La Comisión Internationale de l'Eclairage (CIE por sus siglas en francés) la adoptó bajo el estándar CIE S 007/E-1998. (Calle, Pérez, Casanova & Romo, 1999; Marín, 2007).

Marín Fernández (2007) expresa que:

Esta curva es la recomendada actualmente para la determinación de la radiación UV eritemáticamente activa o biológicamente efectiva (UVER) ... La UVER es más significativa entre los 300 y 325nm, es decir, fundamentalmente en el rango de la UVB, lo que indica que en cuanto a efectos biológicos la radiación UVA es mucho menos relevante que la UVB. (p. 12).

La UVER se puede obtener mediante la siguiente expresión integral:

$$I_{UVER} = \int_{280}^{400} I(\lambda) \varepsilon(\lambda) d\lambda \quad (7)$$

La integral tiene como límite inferior 280nm, por debajo del cual toda la radiación es absorbida antes de llegar a la superficie de la Tierra, y el límite superior (400nm) constituye la longitud de onda frontera entre el UVA y el espectro visible.

El estudio de la influencia eritemática se realiza a partir de la dosis mínima de UVER que produce un enrojecimiento perceptible en una piel humana no expuesta previamente a la radiación solar. Esta dosis se conoce internacionalmente como Dosis Eritemática Mínima (MED) y siempre está referida a un determinado fototipo de piel. Los fototipos cutáneos se establecen en función de la cantidad de melanina presente y, consecuentemente, de la capacidad natural para evitar el eritema.

Un MED (Dosis Eritemática Mínima) se define como la unidad de energía radiante UVB ponderada que produce un eritema apenas perceptible en la piel tipo II (piel clara) y es equivalente a 210 Joule por metro cuadrado (J/m<sup>2</sup>). También se puede cuantificar la radiación por medio de la MED/hora, la cual es una dosis (potencia/área) efectiva mínima de radiación UV que produce enrojecimiento de la piel humana (eritema) promedio de tipo II y se define como la razón (irradiancia propiamente dicha) con la que incide la radiación UVB sobre alguna superficie.







$$1 \text{ MED} = 210 \text{ J/m}^2$$

$$1 \text{ MED/hora} = (210/3600)(\text{J/seg})/\text{m}^2 = (7/120) \text{ W/m}^2 = 58.33 \text{ mW/m}^2$$

Los fototipos de piel están clasificados según la escala Fitzpatrick. Para cada fototipo existe un MED diferente, y por ende un equivalente específico en J/m<sup>2</sup>. En la Tabla 5 pueden observarse los distintos fototipos de piel, su MED respectiva y su equivalente en J/m<sup>2</sup>. (Calle, Pérez, Casanova & Romo, 1999; Marín, 2007).

**Tabla 5:**

Fototipos de piel y su Dosis Eritémica Mínima (MED)

Fototipo de piel	Características	MED	J/m <sup>2</sup>
I	 Presenta intensas quemaduras solares, casi nunca se pigmenta. Piel sensible, muy clara, cabello rojizo, pecas, ojos claros.	0.8	168
II	 La piel se enrojece rápidamente pero se broncea lentamente. Piel sensible, clara, cabello claro, con frecuencia ojos claros.	1	210
III	 Riesgo de quemadura solar pero bronceado más claro y más lento. Piel trigueña, cabello castaño, ojos claros u oscuros.	1.25	262.5
IV	 Se quema moderada o mínimamente, bronceado rápido y profundo. Piel morena menos sensible, cabello oscuro o negro, ojos oscuros.	1.56	328.1
V	 Rara vez se quema y se broncea pronto y en un tono oscuro. Piel oscura menos sensible, cabello negro, ojos oscuros.	1.95	410.2
VI	 Nunca se quema y se broncea profundamente. Piel muy oscura menos sensible, cabello negro, ojos oscuros.	2.44	512.7

**Nota.** Adaptado de <http://bit.ly/2xQILdm>. Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (s.f.).  
¿Cómo se obtiene el IUV y el tiempo de exposición?

Cada fototipo de piel tiene una respuesta distinta a la radiación UV, por ejemplo, el tiempo de exposición máximo para una persona con piel tipo II que recibe una irradiancia de 5 MED/hora UVB es el siguiente:

$$E_{\text{eritem}} = (\text{MED/hora})(58.33 \text{ mW/m}^2) \quad (8)$$

$$E_{\text{eritem}} = (5)(58.33 \text{ mW/m}^2) = 291.65 \text{ mW/m}^2$$

$$t = (60\text{min}) / (291.65/60) = 12.35 \text{ min}$$

Una vez obtenido el tiempo de exposición máximo para la piel tipo II, solo basta con multiplicar dicho tiempo con los MED específicos de cada fototipo que están en la Tabla 5, y así se obtiene que los tiempos de exposición máximos ante una irradiancia de 5 MED/hora UVB son los siguientes:

<b>Fototipo I:</b>	(12.35 min)(0.8)	=	9.88 min
<b>Fototipo II:</b>	(12.35 min)(1)	=	12.35 min
<b>Fototipo III:</b>	(12.35 min)(1.25)	=	15.44 min
<b>Fototipo IV:</b>	(12.35 min)(1.56)	=	19.23 min
<b>Fototipo V:</b>	(12.35 min)(1.95)	=	24.08 min
<b>Fototipo VI:</b>	(12.35 min)(2.44)	=	30.13 min

Aunque estos cálculos muestran un tiempo de exposición “seguro” a la radiación UVB según el fototipo de piel, López de la Fuente (2002) comenta que:

Conviene recordar, que los efectos de la radiación UV sobre la salud tienen una secuencia acumulativa, independientemente del tipo de piel. El riesgo y daño de la salud pública ante la radiación UVB no es de un modo lineal, sino exponencial, según el cuadrado o incluso el cubo del crecimiento de la UVB, llegando al límite de la quema del tejido vivo. (p. 15).

#### **5.4.4 Efectos biológicos de la radiación UV**

La exposición humana a la radiación solar ultravioleta tiene importantes implicaciones para la salud pública. La evidencia del daño asociado con la sobreexposición a la radiación UV ha sido demostrada en muchos estudios. El cáncer de piel y el melanoma maligno están entre los efectos más graves para la salud, pero otra serie de efectos sobre la salud han sido identificados... (OMS, 2006, p. vi).

Se prevé que al menos durante la primera mitad del siglo XXI la exposición a la radiación UV aumentará la gravedad de la quemadura solar y la incidencia de cáncer de piel. La radiación UV de alta intensidad también daña los tejidos externos del ojo causando fotoqueratitis que es el equivalente ocular de la

quemadura solar, así mismo, la exposición a la radiación UV provoca inmunosupresión en todo el cuerpo, esto puede influir en patrones de enfermedades infecciosas y en la aparición y progresión de diversas enfermedades autoinmunes. (OMS, 2003).

#### 5.4.4.1 Quemaduras solares, bronceado y envejecimiento de la piel

El efecto agudo más conocido de la exposición aguda a la radiación UV es el eritema, el enrojecimiento de la piel que se conoce como quemadura solar. La exposición crónica a los rayos UV ocasiona varios cambios de tipo degenerativo en las células, el tejido fibroso y los vasos sanguíneos, además, acelera el proceso de envejecimiento de la piel y la pérdida gradual de su elasticidad produce arrugas y una piel seca y áspera.



**Figura 19. Quemadura solar.**  
Recuperado de: <http://bit.ly/2yHT5p0>

#### 5.4.4.2 Cáncer de piel

La piel es el órgano más grande del cuerpo. Protege contra el calor, la luz solar, las lesiones y las infecciones. Ayuda también a controlar la temperatura del cuerpo y almacena agua, grasa y vitamina D. La piel tiene varias capas, pero las dos principales son la epidermis (capa superior o externa) y la dermis (capa inferior o interna). El cáncer de piel comienza en la epidermis, que está compuesta por tres tipos de células:

- **Células escamosas:** Son células planas en la parte externa de la epidermis que se desprenden constantemente a medida que las nuevas células se forman.
- **Células basales:** Estas células están en la parte inferior de la epidermis, llamada capa de células basales. Estas células se dividen constantemente para reemplazar las células escamosas que se desprenden de la superficie de la piel. A medida que estas células se desplazan hacia la epidermis se vuelven más planas, y con el tiempo se convierten en células escamosas.

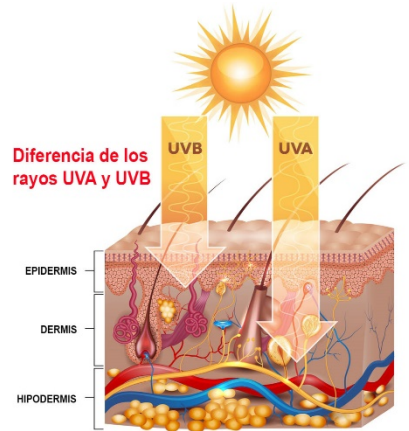
- **Melanocitos:** Estas células producen el pigmento marrón llamado melanina que causa que la piel se broncee o se ponga morena. La melanina actúa como bloqueador solar natural del cuerpo que protege las capas más profundas de la piel contra algunos de los efectos nocivos del sol. Para la mayoría de las personas, cuando la piel se expone al sol, los melanocitos producen más pigmento, causando que la piel se torne bronceada o más oscura.

El cáncer se origina cuando las células en el cuerpo comienzan a crecer en forma descontrolada. Las células en casi cualquier parte del cuerpo pueden convertirse en células cancerosas. El cáncer puede presentarse en cualquier parte del cuerpo, pero es más común en la piel expuesta a menudo a la luz solar, como la cara, cuello, las manos y los brazos.

La exposición a los rayos UV se asoció primeramente al cáncer de piel de manera experimental en la década de 1920, para el año 1992, la Agencia Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) concluyó que la radiación solar es una causa del cáncer de piel.

Dentro de las bandas de radiación ultravioleta, el mayor riesgo de cáncer de piel se relaciona con la exposición a la UVB, puesto que esta banda es mucho más efectiva que la UVA para causar daño biológico. La UVB contribuye aproximadamente a un 80% de las quemaduras de sol, mientras que la UVA contribuye solamente a un 20%.

Existen diferentes tipos de cáncer de piel, los más comunes son el carcinoma de células basales, el carcinoma de células escamosas y el melanoma; la radiación UVB (procedente del sol o de fuentes artificiales) se ha relacionado de forma concluyente con estos tipos de cáncer de piel.



**Figura 20. Capacidad de penetración de los rayos UV en las capas de la piel.**

Recuperado de: <http://bit.ly/2ziGfts>



Según la OMS (2003) cada año se producen en todo el mundo entre dos y tres millones de casos de cáncer de piel no melánico y aproximadamente 132,000 casos de cáncer de piel melánico; en los Estados Unidos, se gastan 3.4 billones de dólares/año por 1.2 millones de operaciones por cáncer piel, además; de los tipos de cáncer, el de piel es el más frecuente. (OMS, 2003; Ministerio de Salud de Chile [MINSAL], 2011; Instituto Nacional del Cáncer [NCI], 2017).

#### **5.4.4.3 Carcinoma de Células Basales (CCB)**

El CCB es el tipo más común de cáncer de piel. Y forma parte de los llamados cáncer de piel no melanoma. Alrededor de ocho de cada diez casos de cáncer de piel son carcinomas de células basales (también llamados cánceres de células basales). Cuando se observan con un microscopio, las células en estos cánceres lucen como células en la capa más inferior de la epidermis, llamada capa de células basales.



**Figura 21. Carcinoma de Células Basales.**

Recuperado de:  
<http://bit.ly/2xQmxZQ>

Por lo general, estos cánceres surgen en las zonas expuestas al sol, especialmente la cabeza y el cuello. Estos cánceres tienden a crecer lentamente. Es muy poco común que el cáncer de células basales se propague a otras partes del cuerpo. No obstante, si un cáncer de células basales se deja sin tratar, puede extenderse a las áreas cercanas y afectar los huesos, así como otros tejidos debajo de la piel.

Si no se extrae completamente, el carcinoma de células basales puede recurrir (reaparecer) en el mismo lugar de la piel. Las personas que han tenido cánceres de piel de células basales también tienen una probabilidad mayor de padecer nuevos cánceres en otros lugares. Aunque este tipo de cáncer raramente es mortal, el tratamiento quirúrgico es doloroso y a menudo desfigurante. (American Cancer Society [ACS], 2016).



#### 5.4.4.4 Carcinoma de Células Escamosas (CCE)

Alrededor de dos de cada diez casos de cáncer de piel son carcinomas de células escamosas (también llamados cánceres de células escamosas). Las células en estos cánceres lucen como versiones anormales de las células escamosas vistas en las capas externas de la piel.

Estos cánceres comúnmente aparecen en las áreas del cuerpo expuestas al sol, tales como la cara, las orejas, los labios y el dorso de las manos. También puede surgir en cicatrices o llagas crónicas de la piel en otras partes del cuerpo. Algunas veces comienzan en las queratosis actínicas (se describen a continuación). Con menor frecuencia, se forman en la piel del área genital.

Los cánceres de células escamosas tienen más probabilidad de crecer hacia las capas más profundas de la piel y propagarse a otras partes del cuerpo que los cánceres de células basales, aunque esto sigue siendo poco común.

Los queratoacantomas son tumores en forma de cúpula que se encuentran en la piel expuesta al sol. Puede que comiencen a crecer rápidamente, aunque su crecimiento por lo general es lento. Muchos queratoacantomas se encogen e incluso desaparecen por sí solos con el transcurso del tiempo sin tratamiento, pero algunos pueden continuar creciendo y unos hasta pueden propagarse hacia otras partes del cuerpo.

A menudo es difícil predecir su crecimiento de modo que muchos expertos en cáncer de piel los consideran un tipo de cáncer de piel de células escamosas y los tratan como tales. (ACS, 2016).



**Figura 22. Carcinoma de Células Escamosas.**

Recuperado de:  
<http://bit.ly/2xQmxZQ>



**Figura 23. Queratoacantomas.**

Recuperado de:  
<http://bit.ly/2zyT9o7>

#### 5.4.4.5 Queratosis actínica (queratosis solar)

La queratosis actínica, también conocida como queratosis solar, es una enfermedad precancerosa de la piel causada por exposición excesiva al sol. Por lo general, las queratosis actínicas son manchas pequeñas (miden menos de medio cm o 1/4 de pulgada de ancho) y ásperas o escamosas que pueden ser de color rosado rojizo o del color de la piel. Suelen originarse en la cara, las orejas, el dorso de las manos y los brazos de las personas de edad mediana o mayores que tienen la piel blanca, aunque también pueden aparecer en otras áreas expuestas al sol. Por lo general, las personas que las tienen desarrollan más de una.



**Figura 24. Queratosis actínica.**

Recuperado de:  
<http://bit.ly/2xQUQA7>

La queratosis actínica tiende a crecer lentamente y usualmente no causa ningún síntoma (aunque algunas pueden causar comezón e irritación). Algunas veces desaparecen por sí solas, pero pueden reaparecer.

Algunas queratosis actínicas se pueden convertir en cánceres de piel de células escamosas. La mayoría de las queratosis actínicas no se transforman en cáncer, aunque puede que a veces sea difícil diferenciarlas de verdaderos cánceres de piel. Por lo tanto, los médicos a menudo recomiendan tratamiento. (ACS, 2016).

#### 5.4.4.6 Melanomas

El melanoma es un cáncer que se origina en los melanocitos. Entre otros nombres de este tipo de cáncer se encuentran los de melanoma maligno y melanoma cutáneo. La mayoría de las células del melanoma continúan produciendo melanina de modo que los tumores tipo melanoma usualmente son de color café o negro. Sin embargo, algunos melanomas no producen melanina y pueden lucir color rosado, café o incluso blanco.



**Figura 25. Melanoma**

Recuperado de:  
<http://bit.ly/2yyW3uR>

Los melanomas pueden ocurrir en cualquier parte de la piel, pero son más propensos a comenzar en el tronco (pecho y espalda) de los hombres y en las piernas de las mujeres. El cuello y el rostro son otros sitios comunes.

Tener una piel con pigmentación oscura disminuye su riesgo de melanoma en estos lugares más comunes, aunque cualquier persona puede desarrollar este tipo de cáncer en las palmas de las manos, las plantas de los pies y debajo de las uñas. Los melanomas en estas áreas representan más de la mitad de todos los melanomas en los estadounidenses de raza negra, pero menos de 1 en 10 melanomas en los de raza blanca.

También los melanomas pueden formarse en otras partes del cuerpo como los ojos, la boca, los genitales y el área anal, pero son mucho menos comunes que los melanomas de la piel.

El melanoma es mucho menos común que el cáncer de piel de células basales o de células escamosas, pero es mucho más peligroso (cada año se registran 44,200 nuevos casos de melanoma y se registran 7,300 muertes por dicha enfermedad). Al igual que el cáncer de células basales y de células escamosas, el melanoma es casi siempre curable en sus etapas iniciales. Sin embargo, el melanoma tiene muchas más probabilidades de propagarse a otras partes del cuerpo, si no se detecta temprano, en comparación con el cáncer de células basales o escamosas. (ACS, 2017).

#### **5.4.4.7 Afecciones oculares**

Las radiaciones UVA y UVB son absorbidas por el epitelio de la córnea produciendo daños y lesiones como la fotoqueratitis. Suele producirse también después entre las 6 y 8 horas después de la exposición. Los síntomas se caracterizan por dolor, sensación de arena en los ojos y fotofobia. Puede haber un eritema (enrojecimiento) de la piel de los párpados, lagrimeo, inyección conjuntival, edema y erosiones punteadas epiteliales.

Las lesiones en la conjuntiva, fotoconjuntivitis, son secuelas de la radiación UV menor de 320nm. Suele tener un periodo de latencia que puede oscilar entre las 6 y 8 horas de exposición. La radiación acumulativa en este tejido tiene también

una estrecha relación en la aparición y desarrollo del Pterigión denominado comúnmente “uña”.

El cristalino absorbe longitudes de onda UV entre los 295 y los 400nm por lo que la exposición crónica a esta radiación está asociada al envejecimiento del mismo y a la formación y desarrollo de cataratas.

En la retina se pueden producir lesiones agudas por radiaciones de origen térmico (infrarroja IR) y lesiones crónicas por radiaciones más energéticas como la ultravioleta UV y la luz azul (entre 400 y 500nm) cuyos fotones actúan como radicales libres generando deterioros fotoquímicos, daños en las células de la retina y degeneración macular. (Efectos y lesiones oculares por la radiación solar, 2014).



*Fotoqueratitis*

*Fotoconjuntivitis*

*Pterigión*

*Cataratas*

**Figura 26. Afecciones oculares de la radiación UV.**

Recuperado de: <http://bit.ly/1cFrea1>

#### **5.4.4.8 Inhibición del sistema inmunológico**

La OMS (2003) explica que:

Experimentos con animales han demostrado que la radiación UV puede modificar el curso y la gravedad de los tumores cutáneos. Además, las personas tratadas con medicamentos inmunodepresores presentan una mayor incidencia de carcinoma de células escamosas que la población normal. En consecuencia, además de su papel iniciador del cáncer de piel, la exposición al sol puede reducir las defensas del organismo que normalmente limitan el desarrollo progresivo de los tumores cutáneos. Varios estudios han demostrado que la exposición a niveles medioambientales de radiación UV altera la actividad y distribución de algunas de las células responsables de desencadenar las respuestas

inmunitarias en el ser humano. En consecuencia, la exposición al sol puede aumentar el riesgo de infecciones víricas, bacterianas, parasitarias o fúngicas, según se ha comprobado en diversos experimentos con animales. Asimismo, especialmente en los países en desarrollo, niveles altos de radiación UV pueden reducir la eficacia de las vacunas.

Dado que muchas enfermedades prevenibles por vacunación son extremadamente infecciosas, cualquier factor que disminuya, aunque sea levemente, la eficacia de las vacunas puede tener un gran impacto en la salud pública. (p. 17-18).

#### **5.4.4.9 Síntesis de la vitamina D**

La vitamina D es esencial para el metabolismo fosfo-cálcico y para la densidad ósea. Su deficiencia se relaciona con el raquitismo, enfermedades cardiovasculares, enfermedades autoinmunes y enfermedades mentales.

La vitamina D es la única vitamina en la que el suministro principal no se produce a través de los alimentos, sino a través de los rayos solares, ya que el 90% se sintetiza en la piel por medio de los rayos UVB y tan solo el 10% se obtiene mediante la ingesta dietética.

La exposición a la luz solar puede proveer a la mayoría de las personas de su requerimiento entero de vitamina D. Los niños y adultos jóvenes que pasan un tiempo corto en exteriores, dos o tres veces a la semana, generalmente sintetizan toda la vitamina D que necesitan para prevenir una deficiencia. Un estudio reportó que las concentraciones de vitamina D luego de la exposición a una dosis eritemal mínima de luz solar (la cantidad de luz requerida para causar un leve enrojecimiento de la piel) en todo el cuerpo, fue equivalente a ingerir aproximadamente de 10,000 a 25,000 UI (Unidades Internacionales) de vitamina D. Las personas con un color de piel oscuro sintetizan notablemente menos vitamina D con la exposición a luz solar que aquellas con piel de color más claro. La aplicación de bloqueador solar con un FPS de 10 reduce la producción de vitamina D en un 90%. (Barco, 2013; Higdon, 2016)

## 5.5 Índice de Radiación Ultravioleta (UVI)

El índice UV solar mundial (UVI, por sus siglas en inglés) es una medida de la intensidad de la radiación UV solar en la superficie terrestre. El índice se expresa como un valor superior a cero, y cuanto más alto, mayor es la probabilidad de lesiones cutáneas y oculares y menos tardan en producirse esas lesiones. El UVI es un



**Figura 27. Logo UVI**  
Fuente: OMS (2003)

vehículo importante para aumentar la concienciación de la población sobre los riesgos de la exposición excesiva a la radiación UV y para advertir a las personas de la necesidad de adoptar medidas de protección. Si se impulsa a las personas a que reduzcan su exposición al sol, pueden reducirse los efectos perjudiciales para la salud. Este instrumento educativo debe utilizarse como parte integral de un programa para informar a la población sobre la protección solar y los riesgos de la radiación UV para la salud, así como para cambiar las actitudes y el comportamiento de las personas con respecto a la exposición a la radiación UV. El UVI debe dirigirse especialmente a los grupos de población vulnerables y con exposición alta, como los niños y los turistas, y debe servir para informar a la población sobre los diversos efectos de la radiación UV sobre la salud, como las quemaduras solares, el cáncer de piel y el envejecimiento de la piel, o las alteraciones oculares y del sistema inmunitario.

La formulación del índice UV solar mundial se basa en el espectro de acción de referencia de la Comisión Internacional sobre Iluminación (CIE) para el eritema inducido por la radiación UV en la piel humana (ISO 17166:1999/CIE S 007/E-1998). Dicho índice es una medida de la radiación UV aplicable a y definida para una superficie horizontal. El UVI es adimensional y se define mediante la siguiente ecuación:

$$I_{UV} = k_{er} \int_{250}^{400} I(\lambda) \varepsilon(\lambda) d\lambda \quad (9)$$



Donde  $I(\lambda)$  es la irradiancia espectral solar expresada en  $W/(m^2.nm)$  a la longitud de onda  $\lambda$ ,  $\varepsilon(\lambda)$  es el espectro de acción de referencia para el eritema y  $k_{er}$  es una constante igual a  $40m^2/W$ .

Para la medición del UVI existen dos enfoques: El primero consiste en utilizar un espectrorradiómetro y calcular el UVI mediante la Ecuación 9. El segundo consiste en utilizar un detector de banda ancha calibrado y programado para proporcionar el UVI directamente. Si se dispone de observaciones continuas, es útil manejar valores medios de periodos de 5 a 10 minutos para mostrar los cambios a corto plazo, así mismo, el UVI debe presentarse como un valor único redondeado al número entero más próximo. (OMS, 2003)

Los valores del UVI se dividen en categorías de exposición, éstas pueden observarse en la Figura 28.

CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN	INTERVALO DE VALORES DEL IUV
<b>BAJA</b>	<b>&lt; 2</b>
<b>MODERADA</b>	<b>3 A 5</b>
<b>ALTA</b>	<b>6 A 7</b>
<b>MUY ALTA</b>	<b>8 A 10</b>
<b>EXTREMADAMENTE ALTA</b>	<b>11+</b>

Figura 28. Categorías de exposición a la radiación UV.

Fuente: OMS (2003)

Cada índice UV tiene su equivalente en MED/hora, de allí que puedan obtenerse tiempos de exposición “seguros” para cada índice UV en dependencia del fototipo de piel, como se hizo en el apartado 5.4.3. Para efectos prácticos, los científicos han elaborado las siguientes tablas, éstas muestran el equivalente en MED/hora para cada UVI y los tiempos de exposición máximos según el fototipo de piel.

**Tabla 6:**

Equivalente en MED/hora para los valores del UVI

UVI	MED/hora
0	0
1	0.43
2	0.86
3	1.29
4	1.72
5	2.14
6	2.57
7	3
8	3.43
9	3.86
10	4.29
11	4.72
12	5.15
13	5.57
14	6
15	6.43

**Nota.** Adaptado de <http://bit.ly/2yBjvWL>. Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial [CONIDA], s.f. *Radiación ultravioleta e índices UV*

**Tabla 7:**

Tiempo máximo permitido de exposición solar (en minutos).

Índice UV	Fototipo de piel					
	I	II	III	IV	V	VI
0	Indefinido	Indefinido	Indefinido	Indefinido	Indefinido	Indefinido
1	112	140	175	218.7	273.5	341.8
2	56	70	87.5	109.4	136.7	170.9
3	37.3	46.7	58.3	72.9	91.2	113.9
4	28	35	43.8	54.7	68.4	85.5
5	22.4	28	35	43.7	54.7	68.4
6	18.7	23.3	29.2	36.5	45.6	57
7	16	20	25	31.2	39.1	48.8
8	14	17.5	21.9	27.3	34.2	42.7
9	12.4	15.6	19.4	24.3	30.4	38
10	11.2	14	17.5	21.9	27.3	34.2
11	10.2	12.7	15.9	19.9	24.9	31.1
12	9.3	11.7	14.6	18.2	22.8	28.5
13	8.6	10.8	13.5	16.8	21	26.3
14	8	10	12.5	15.6	19.5	24.4
15	7.5	9.3	11.7	14.6	18.2	22.8

**Nota.** Adaptado de <http://bit.ly/2xQILdm>. Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (s.f.).  
¿Cómo se obtiene el IUV y el tiempo de exposición?



### 5.5.1 Presentación gráfica del UVI

Para informar sobre el UVI solar deben usarse colores específicos, los cuales no tienen una base científica, sino que más bien constituyen un medio para hacer más atractiva la información sobre el UVI, de igual manera, la representación gráfica normalizada del UVI fomenta la coherencia en la información sobre el mismo a nivel mundial, además de ayudar a que la población en general pueda comprender el concepto. El objetivo final es que la población reconozca el UVI como una información diaria útil. Para ello, los mensajes deben ser sencillos y fáciles de comprender. La comunicación del UVI de forma útil para el receptor permitirá la puesta en práctica de las recomendaciones y que la población acepte el UVI como guía para la adopción de hábitos saludables de protección solar (OMS, 2003).

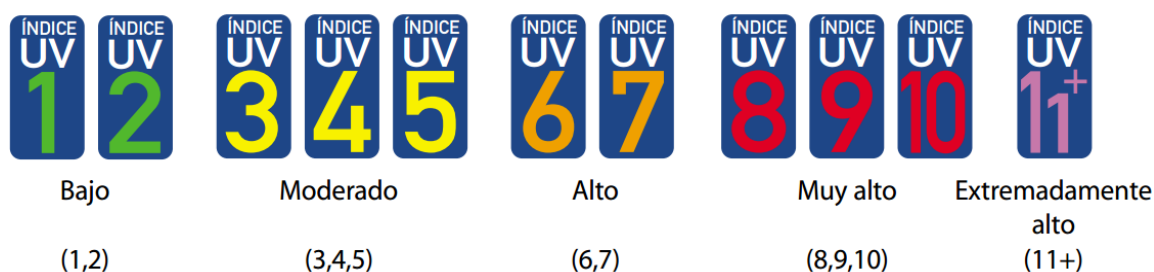


Figura 29. Código de colores para el UVI.

Fuente: OMS (2003)

### 5.5.2 Recomendaciones básicas sobre fotoprotección

La fotoprotección tiene como objetivo prevenir el daño que ocurre en la piel como consecuencia de la exposición a la radiación UV. Entre el 50 y el 80% de la exposición solar que un individuo recibe en toda su vida se realiza entre los 18 a los 20 primeros años de edad.

Hay dos tipos de fotoprotección y se describen a continuación:

- **Fotoprotección intrínseca de la piel:** La piel posee mecanismos de defensa, entre los que se encuentran el engrosamiento de sus capas más

superficiales (epidermis y dermis) y la síntesis de melanina (pigmento que origina el bronceado).

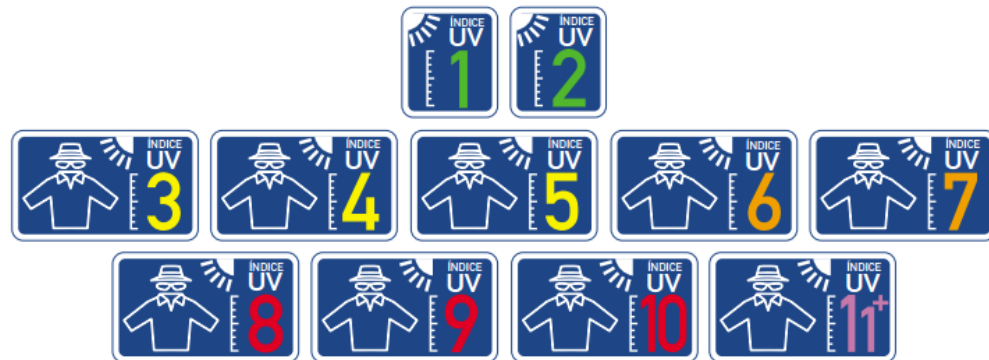


Figura 30. Pictogramas de protección solar para los diferentes valores del UVI.

Fuente: OMS (2003)

- **Fotoprotección exógena:** La constituyen todas aquellas estrategias encaminadas a disminuir los efectos adversos de las radiaciones solares sobre la piel.

Dentro de la fotoprotección exógena existen dos líneas básicas que son:

- **Uso de ropas y elementos fotoprotectores:** La ropa es un excelente fotoprotector, especialmente en la banda UVB. La capacidad de protección solar que una prenda tiene de fábrica se expresa como Factor de Protección UV (UPF). Los sombreros proporcionan una protección variable que va a depender del tejido y de la anchura del ala. Una anchura de ala superior a 7.5 cm proporcionará protección para la nariz, mejía, cuello y barbilla. El uso de gafas de sol protege los ojos y el área periocular; para garantizar una buena protección ocular, se recomienda que las gafas de sol absorban entre el 99% y 100% del espectro UV hasta los 400nm.
- **Sustancias fotoprotectoras:** Las sustancias fotoprotectoras tienen la capacidad de absorber, reflejar o dispersar la radiación UV, evitando que penetre en la piel y que cause por tanto daño actínico.

Entre las sustancias fotoprotectoras existen dos grandes grupos que son:

- **Fotoprotectores sistémicos orales:** Protegen la totalidad de la piel y no están sujetos a la forma de aplicación, la eliminación por el agua o el sudor o la reaplicación. Tienen el inconveniente de que son menos potentes que los fotoprotectores tópicos.
- **Fotoprotectores tópicos:** Son sustancias que actúan absorbiendo, reflejando o dispersando fotones de las radiaciones UV, evitando la penetración cutánea de éstas e impidiendo sus efectos nocivos.

El método más extendido para medir la eficacia de un fotoprotector es el Factor de Protección Solar (SPF), que da una idea del tiempo que se puede permanecer al sol sin quemarse. El Factor de Protección Solar se define como el cociente entre la dosis eritematosa mínima (MED) de la piel con fotoprotector, y la MED de la piel sin fotoprotector a las 24 h de exposición y tras la aplicación de 2 mg/cm<sup>2</sup> de producto. Un SPF4 indicaría que la radiación UVB recibida durante un tiempo determinado, es ¼ de la que se recibiría si no se usase ningún fotoprotector.

Existen tres reglas básicas en el empleo de los fotoprotectores y se describen a continuación:

1. Se debe aplicar de 15-30 minutos antes de la exposición solar, asegurándose de su completa absorción.

- **Reduzca la exposición durante las horas centrales del día.**
- **Busque la sombra.**
- **Utilice prendas de protección.**
- **Póngase un sombrero de ala ancha para proteger los ojos, la cara y el cuello.**
- **Protéjase los ojos con gafas de sol con diseño envolvente o con paneles laterales.**
- **Utilice crema de protección solar de amplio espectro, con un factor de protección solar (FPS) 15+, en abundancia y cuantas veces la necesite.**
- **Evite las camas solares.**
- **Es particularmente importante proteger a los bebés y niños de corta edad.**

Figura 31. Pautas de fotoprotección brindadas por la OMS.

Categoría de protección	SPF
Baja	6-8-10
Media	15-20-25
Alta	30-50
Muy alta	50+

Figura 33. Categorías de fotoprotección.  
Fuente: Palacios & Mallo

SPF	2 mg/cm <sup>2</sup>	1 mg/cm <sup>2</sup>	0,5 mg/cm <sup>2</sup>
15	15	3,9	2
30	30	5,5	2,3
50	50	7,1	2,7

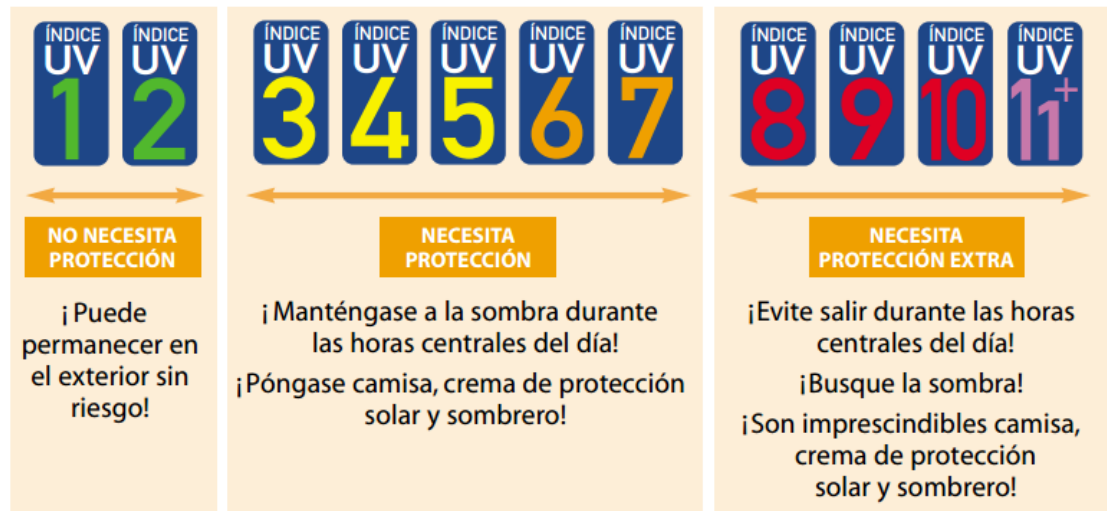
Figura 32. Factor de protección solar real proporcionado según la cantidad de fotoprotector aplicada.  
Fuente: Palacios & Mallo

2. Repetir la aplicación cada 2 horas en exposiciones prolongadas, o tras el baño, ejercicio, o sudoración intensa.
3. Agitarlo antes de aplicarlo, y emplear una cantidad adecuada. Se recomienda como medida una palma completa de la mano para un adulto (equivalente a 6 cucharadas de café para un adulto de talla media, o a 2 mg/cm<sup>2</sup>) y media palma para un niño promedio. Si la cantidad de fotoprotector aplicada es menor, el factor de protección solar que proporciona el filtro será mucho menor de lo que aparece escrito en el envase. (Palacios & Mallo, s.f.)

FALSO	VERDADERO
El bronceado es saludable.	El bronceado es una forma de defensa del organismo contra daños adicionales por la radiación UV.
El bronceado te protege del sol.	Un bronceado intenso en personas de piel clara sólo ofrece una protección escasa, equivalente a un FPS de alrededor de 4.
En días nublados no te quemas.	Hasta el 80% de la radiación UV solar puede atravesar una nubosidad poco densa. La neblina de la atmósfera puede incluso aumentar la exposición a la radiación UV.
Estando en el agua no te quemas.	El agua proporciona una protección mínima contra la radiación UV y los reflejos del agua pueden aumentar la exposición.
Durante el invierno, la radiación UV no es peligrosa.	La radiación UV es generalmente menor durante los meses de invierno, pero la reflexión en la nieve puede duplicar la exposición total, especialmente a altitudes elevadas. Sea particularmente precavido a comienzos de la primavera, cuando las temperaturas son bajas pero los rayos del sol son más fuertes de lo que se podría esperar.
Las cremas protectoras permiten tomar el sol mucho más tiempo.	Las cremas de protección solar no deben utilizarse para aumentar el tiempo de exposición al sol, sino para aumentar la protección cuando la exposición es inevitable. La protección que proporcionan depende en gran medida de si se aplican correctamente.
Si realizas descansos periódicos al tomar el sol no te quemas.	La exposición a la radiación UV se acumula a lo largo del día.
Si uno no siente el calor de los rayos del sol no se quemará.	Las quemaduras solares se deben a la exposición a rayos UV imperceptibles. El efecto térmico se debe a la radiación infrarroja del sol y no a la radiación UV.

**Figura 34. Falsas creencias habituales sobre la radiación UV.**

Fuente: OMS



**Figura 35. Sistema de protección solar recomendado, con mensajes sencillos y fáciles de recordar.**

Fuente: OMS

## 5.6 El Solmáforo

El Solmáforo es un dispositivo diseñado para la medición del Índice de Radiación Ultravioleta (UVI, por sus siglas en inglés). La presentación del UVI, se realiza por medio de un código de colores (verde, amarillo, naranja, rojo y violeta respectivamente) de fácil interpretación, según el protocolo diseñado por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

El primer Solmáforo del mundo fue creado en Chile en el año 2004 por los científicos chilenos Tomás Santibáñez (ingeniero civil eléctrico), y Ernesto Gramsch (físico y académico de la Universidad de Santiago). Según Gramsch, “el aparato surgió bajo la iniciativa de la Corporación Nacional del Cáncer (CONAC), con la idea de tomar medidas preventivas ante la radiación UV”. En la Figura 36 se observa a Ernesto Gramsch con uno de los prototipos de sus Solmáforos.



**Figura 36. Prototipo de Solmáforo construido por Gramsch.**

Recuperado de:  
<https://bit.ly/2GDdiil>

Un Solmáforo básico consta de dos partes principales:

- El cabezal, que es el módulo que contiene el sensor y debe estar expuesto al sol para obtener una medición correcta.
- El módulo visor, que contiene la electrónica y los focos para las señales lumínicas.

El Solmáforo indica el nivel de radiación UV con los cinco colores establecidos por la OMS, como se observa en la Figura 38.



**Figura 37. Partes que conforman un Solmáforo.**

Recuperado de:  
<https://bit.ly/2GG5xY7>

Color	Riesgo	Índice UV
 Verde	<b>Bajo</b>	<2
 Amarillo	<b>Moderado</b>	3-5
 Naranja	<b>Alto</b>	6-7
 Rojo	<b>Muy Alto</b>	8-10
 Morado	<b>Extremadamente alto</b>	> 11

**Figura 38. Código de colores y su equivalencia en UVI.**

Recuperado de: <https://bit.ly/2ILVuTI>

Generalmente el Solmáforo va acompañado de una leyenda con mensajes sencillos recomendados por la OMS, para que la población pueda interpretar correctamente el código de colores y se tomen acciones de fotoprotección.

El objetivo final del UVI es que la población lo reconozca como una información diaria útil. Para ello, los mensajes deben ser sencillos y fáciles de comprender.

ÍNDICE UV	RIESGO	TME*	PROTECCIÓN SUGERIDA
0 a 2	BAJO	60+	 
3 a 5	MODERADO	45	 
6 a 7	ALTO	30	   30sf
8 a 10	MUY ALTO	25	   30sf 
11 o +	EXTREMO	10	

\*TME: Tiempo Máximo Recomendado de Exposición (expresado en minutos).

**Figura 39. Ejemplo de leyenda en un Solmáforo.**

Recuperado de: <https://bit.ly/2PqOay5>



La comunicación del UVI de forma útil para el receptor permitirá la puesta en práctica de las recomendaciones y que la población acepte el UVI como guía para la adopción de hábitos saludables de protección solar. El Solmáforo es un instrumento educativo y de fácil interpretación que puede ayudar a la población a hacer conciencia sobre la exposición excesiva a la radiación UV y a que éstas tomen medidas de protección.

La OMS (2003) recomienda que:

...todos los lugares en los que se realizan actividades recreativas al aire libre (playas, centros deportivos y piscinas, zoológicos y parques) son entornos adecuados para informar sobre los niveles de radiación UV y la protección contra el sol. Dado que una alta proporción de la radiación UV a la que se exponen muchas personas a lo largo de la vida se produce durante las vacaciones, los turistas son una importante audiencia para el UVI y las recomendaciones sobre protección solar. (p. 12)

## **5.7 Plataformas de desarrollo Web**

### **5.7.1 ¿Qué es una página web?**

Es un documento o información electrónica que contiene información textual y de tipo audiovisual adaptada para la llamada World Wide Web (WWW). Esta información se encuentra generalmente en formato HTML (lenguaje de marcado de hipertexto) o XHTML (eXtensible Marcado de hipertexto Extensible) y que puede ser accedida mediante un navegador web.

### **5.7.2 HTML5**

Es el lenguaje de marcado de hipertexto (*HyperText Markup Language*), es usado para describir el contenido, o datos, en la World Wide Web y es la quinta revisión de dicho lenguaje. HTML5 no es una reformulación de versiones anteriores, incluye todos los elementos válidos de HTML4 y XHTML 1.0. Establece redefiniciones de elementos de marcado existentes, además nuevos elementos que permiten a los diseñadores web ser más expresivos en la semántica de su marcado y APIs basadas en scripts. (Goldstein, Lazaris, & Weyl, 2015)

Entre sus nuevos elementos destacan:

- Nuevos elementos semánticos como: <header>, <footer>, <article> y <section>.
- Nueva forma de control de atributos como: número, fecha, hora, calendario y rango.
- Nuevos elementos gráficos: <svg> y <canvas>.
- Nuevos elementos multimedia: <audio>, <video>. (w3schools, 2019)

### **5.7.3 CSS 3**

CSS3 (cascading style sheets, también conocidos como hojas de estilo). Es un lenguaje de hojas de estilos que describe cómo se presenta o se marca el estilo HTML. CSS3 es la última versión de la especificación CSS. (Goldstein, Lazaris, & Weyl, 2015)

Las nuevas características en CSS3 incluyen soporte para selectores adicionales, sombras, esquinas redondeadas, fondos múltiples, animación, transparencia y mucho más.

Al crear una página web, se utiliza en primer lugar el lenguaje HTML/XHTML para marcar los contenidos, es decir, para designar la función de cada elemento dentro de la página como por ejemplo: texto destacado, imagen, lista de elementos, párrafos etc. Una vez creados los contenidos, se utiliza el lenguaje CSS para definir el aspecto de cada elemento: color, tamaño y tipo de letra del texto, separación horizontal y vertical entre elementos, posición de cada elemento dentro de la página (modelo de caja).

### **5.7.4 JavaScript**

Es un lenguaje de programación que brinda contenido dinámico a una página web e interpretado por el navegador, por lo que no es necesario compilar los programas para ejecutarlos, es decir los programas escritos en JavaScript se pueden probar directamente en cualquier navegador.

Una página web dinámica es aquella que incorpora efectos como animaciones, controlar archivos de multimedia, gráficos, acciones que se activan al pulsar



botones y ventanas con mensajes de alerta al usuario o cuando pasas el mouse sobre un elemento en el navegador. (Nixon, 2018)

### **5.7.5 PHP**

El Personal Home Page (PHP), inicialmente conocido como Herramientas de PHP, se dio a conocer en junio de 1995 por Rasmus Lerdorf. Fue lanzado originalmente como software de código abierto y se mantiene así hasta nuestros días. La integración de bases de datos se llevó a cabo en la versión 2.0 en 1996, y el producto ha crecido a pasos agigantados desde entonces. Su uso en todo el mundo es más alto que cualquier otro lenguaje de desarrollo web. Al escribir estas líneas, la última versión de PHP es 5.6. (MacIntyre, 2010)

Los desarrolladores de PHP también pueden integrar PHP con una de las muchas herramientas de base de datos diferentes como MySQL, SQLite, PostgreSQL, DB2, MS SQL, ORACLE, etc., para hacer que su contenido creado sea lo más dinámico posible. En realidad, lo que se produce es todavía un archivo HTML estático, pero se produce sobre la marcha y, por lo tanto, parece ser dinámico. En realidad, se podría argumentar que, dado que el contenido se extrae dinámicamente de una base de datos o de otra fuente de datos, PHP está creando contenido dinámico.

### **5.7.6 MariaDB**

MariaDB es sistema de gestión de bases de datos relacional (RDBMS) de código abierto, derivado de MySQL con licencia GPL (General Public License) que se inició en 2009 por Michael (Monty) Widenius, el autor original de MySQL, después de que Oracle (gestor de base de datos) adquiriera el antiguo proyecto. La primera versión de MariaDB se basó en MySQL 5.1, y ambos tienen una alta compatibilidad ya que posee las mismas órdenes, interfaces, API y bibliotecas, siendo su objetivo poder cambiar un servidor por otro directamente, utiliza el lenguaje de consulta estructurado (SQL), para acceder a los datos. (Razzoli, 2014)

### **5.7.7 Bootstrap**

Es un framework desarrollado por Mark Otto, Jacob Thornton en Twitter y lanzado como producto de código abierto en agosto de 2011 en GitHub, que

permite crear interfaces web con CSS y JavaScript. Bootstrap incluye varios elementos predefinidos como: formularios, botones, tablas, navegación, modales, carruseles de imágenes y muchos otros, así como complementos opcionales de JavaScript. Nos ofrece las herramientas para crear sitios web responsivos, es decir se ajustan automáticamente para verse bien en todos los dispositivos, desde teléfonos pequeños hasta computadoras de escritorio grandes. (uniwebsidad, 2019)

Ventajas de Bootstrap:

- Fácil de usar: Conocimientos básicos de HTML y CSS para comenzar a utilizar Bootstrap
- Funciones de respuesta: El CSS sensible de Bootstrap se ajusta a teléfonos, tabletas y computadoras de escritorio
- Primer enfoque móvil: Los estilos de Bootstrap 3 basado en la lógica de “mobile-first” son parte del framework central.
- Compatibilidad del navegador: Bootstrap es compatible con todos los navegadores modernos (Chrome, Firefox, Internet Explorer, Edge, Safari y Opera). (3schools, 2019)

### **5.7.8 PhpMyAdmin**

Es una aplicación web escrita en PHP de código abierto, permite mediante una interfaz web administrar bases de datos MySQL. Soporta múltiples operaciones tales como crear y eliminar bases de datos, crear, eliminar y alterar tablas, borrar, editar y añadir campos, hacer copias de seguridad, administrar privilegios, exportar datos en varios formatos ( CSV , SQL , XML, etc.), entre otros. (phpmyadmin, 2019)

### **5.7.9 Laravel**

Laravel es un framework de código abierto, para el desarrollo de aplicaciones web con PHP, lo cual posee una sintaxis simple, expresiva y elegante. Fue creado en 2011 por Taylor Otwell, tiene una gran influencia de frameworks como Ruby on Rails, Sinatra y ASP.NET.

Laravel facilita el desarrollo de con tareas comunes como la autenticación, el enrutamiento, gestión sesiones, el almacenamiento en caché, etc. La potencia de Laravel radica en su integración, escalabilidad y facilidad de mantenimiento.

Algunas de sus características:

- Blade, Motor de plantillas.
- Facilita la extensión de funcionalidad mediante paquetes o librerías externas.
- Eloquent ORM.
- Soporte para el caché.
- Soporte para MVC (modelo-vista-controlador).
- Sistema de ruteo.

#### **5.7.10 DataTables**

DataTables es un complemento para la biblioteca jQuery de Javascript. Es una herramienta flexible, que agrega todas estas características avanzadas a cualquier tabla HTML. Añadiendo controles avanzados de interacción a cualquier tabla HTML, con el objetivo de mejorar la accesibilidad de los datos en las tablas. (SpryMedia Ltd, 2018)

#### **5.7.11 Apache**

El servidor HTTP apache es un servidor web de código abierto, para plataformas Unix (BSD, GNU/Linux, etc.), El servidor Apache se desarrolla dentro del proyecto HTTP Server (httpd) de Apache Software Foundation.

Apache presenta entre otras características altamente configurables, bases de datos de autenticación y negociado de contenido, pero fue criticado por la falta de una interfaz gráfica que ayude en su configuración.

Ventajas:

- Modular.
- Código abierto.
- Multi-plataforma.
- Extensible.
- Popular (fácil conseguir ayuda/soporte).

Algunas empresas de alto perfil que utilizan Apache incluyen a Cisco, IBM, Salesforce, General Electric, Adobe, VMware, Xerox, LinkedIn, Facebook, Hewlett-Packard, AT&T, Siemens, eBay y muchas más.

### 5.7.12 AJAX

AJAX (Asynchronous Javascript and XML) es una técnica de desarrollo web que, al combinar una serie de tecnologías independientes, nos permite intercambiar información entre el servidor y el cliente (un navegador web) de forma asíncrona. Como resultado, se obtiene una navegación ágil, rápida y dinámica; y también la posibilidad de realizar cambios sobre una web sin necesidad de actualizarla.

#### Sus ventajas son:

- Mejora la experiencia del usuario
- Puede ser utilizada en cualquier plataforma y navegador
- Menor transferencia de datos cliente/servidor
- Optimización de recursos (tiempo de operaciones)
- Portabilidad y usabilidad (permite realizar una petición de datos al servidor y recibirla sin necesidad de cargar la página entera).

### 5.7.13 Raspberry Pi

Raspberry Pi es un ordenador de placa reducida (en inglés: Single Board Computer o SBC). Un grupo de ingenieros y académicos de la Universidad de Cambridge, decidieron desarrollar un ordenador que todo el mundo pudiera permitirse el lujo de comprar para crear un ambiente de aprendizaje en



**Figura 40. Raspberry Pi 2 Modelo B.**

Recuperado de: <https://bit.ly/1b75SRj>

la programación. El proyecto Raspberry Pi se convirtió en algo prometedor desde que empezaron a aparecer los procesadores móviles baratos y de gran alcance con muchas características avanzadas que permite un posible desarrollo de Raspberry, que se continuó bajo la Fundación Raspberry Pi con su primer lanzamiento en 2012 (Raspberry Pi Foundation, s.f.)

La Raspberry PI 2 Modelo B tiene las siguientes características:

- Un procesador quad-core ARM Cortex-A7 a 900MHz.
- 1GB de memoria RAM.
- 100 Base Ethernet.
- 4 puertos USB.
- 40 pines GPIO.
- Puerto Full HDMI.
- Slot para tarjeta MicroSD.

Raspbian es el sistema operativo oficial para la Raspberry Pi, está basado en la distribución de Linux Debian, y se optimizó para operar con procesadores ARM.

## 6 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

### 6.1 Diseño e implementación del sistema electrónico

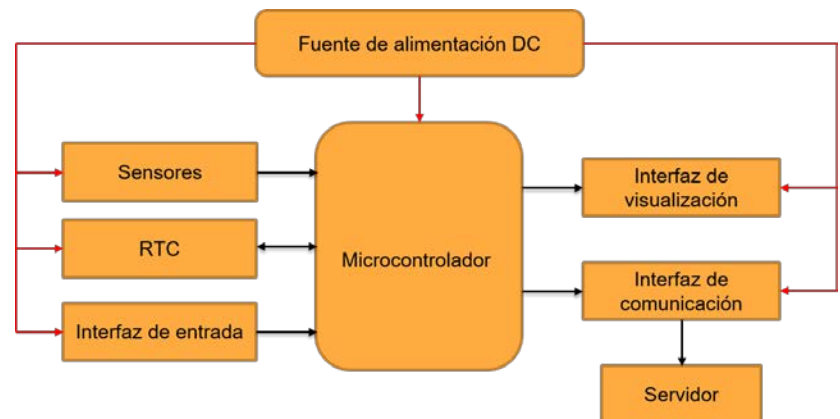
En este capítulo se describe el proceso del diseño e implementación del sistema. Se muestra el diagrama de bloques general del proyecto y luego se describen cada una de sus partes, presentando las características técnicas del hardware.

#### 6.1.1 Diagrama de bloques del sistema

En la Figura 41 se observa el diagrama de bloques del proyecto, a continuación se explican de forma general cada uno de los bloques que conforman el sistema:

- **Fuente de alimentación DC:** Su función es proporcionar la tensión y corriente necesarias para el funcionamiento correcto de cada uno de los bloques del sistema.

- **Sensores:** Su función es medir las variables: Índice UV, Temperatura y Humedad Relativa.



**Figura 41. Diagrama de bloques del sistema.**  
Fuente: Elaboración propia.

- **RTC (Real Time Clock):** Reloj de tiempo real, su función es mantener la hora y la fecha actual, aún en ausencia del suministro eléctrico.
- **Interfaz de entrada:** Por medio de ella se configuran los parámetros del RTC.
- **Interfaz de visualización:** Su función es mostrar las mediciones de los sensores y la información del RTC, previamente procesadas por el microcontrolador.
- **Interfaz de comunicación:** Por medio de ella el microcontrolador se comunica con un servidor de bases de datos con el propósito de almacenar las mediciones obtenidas por los sensores.

- **Microcontrolador:** Su función es leer las mediciones de los sensores, el RTC y la interfaz de entrada de datos; procesar esa información y enviarla a las diferentes interfaces de salida y comunicación, según corresponda.

## 6.1.2 Sensores y principales semiconductores

### 6.1.2.1 Sensor de temperatura y humedad relativa

Para realizar la medición de temperatura y humedad relativa se utilizó el sensor AM2301, su salida es digital y utiliza el protocolo 1-Wire (llamado así porque solamente usa un cable para transferir los datos); su apariencia física se observa en la Figura 42.

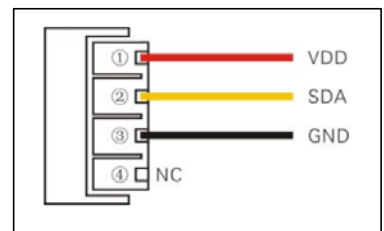


**Figura 42. AM2301.**  
Recuperado de:  
<https://bit.ly/2JHbljd>

El fabricante recomienda que para la implementación de este sensor se utilice un cable blindado con una longitud máxima de 30m para una tensión de alimentación de 5V, con un resistor de pull-up de 5.1k $\Omega$  entre los pines VDD y SDA.

Este sensor presenta dos desventajas:

1. La luz ultravioleta puede afectar su funcionamiento.
2. El microprocesador interno del sensor actualiza su salida cada dos segundos. Para mayor información puede revisar la hoja de datos del mismo en el Anexo G.



**Figura 43. Asignación de pines AM2301.**  
Recuperado de:  
<https://bit.ly/2JHbljd>

El AM2301 se implementó en este proyecto para medir la temperatura y la humedad relativa del ambiente, por lo que no se requiere una respuesta rápida y para utilizarlo a la intemperie basta con introducirlo en una carcasa para protegerlo de la radiación directa del sol. A continuación, se presentan las principales características del AM2301 en la Tabla 8.

**Tabla 8:**

Principales características del sensor AM2301.

Parámetro	Condición	Mínimo	Típico	Máximo	Unidad
Alimentación	-	3.3	5	5.2	V
Temperatura	Resolución	-	0.1	-	°C
	Rango	-40	-	80	°C
	Exactitud	-	±0.3	±1	°C
	Repetitividad	-	±0.2	-	°C
	Resolución	-	0.1	-	%HR
Humedad	Rango	0	-	99.9	%HR
	Exactitud	25 °C	±3	-	%HR
	Repetitividad	-	-	-	%HR

**Nota.** Adaptado de <https://bit.ly/2JHbljd>. AOSONG (s.f.). *Temperature and humidity module*

### 6.1.2.2 Sensor para la medición del índice de radiación UV

Para la medición del índice de radiación UV se utilizó un sensor Davis 6490, el cual mide la radiación UV global, esto es, la suma en el punto de medida de las componentes directa, difusa y reflejada.



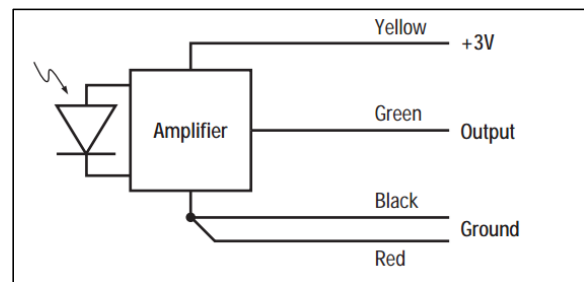
**Figura 44. Sensor UV Davis 6490.**

Recuperado de:

<https://bit.ly/2FwnuHM>

El Davis 6490 utiliza un fotodiodo semiconductor de alta precisión ( $\pm 5\%$  a escala completa), ubicado dentro de una carcasa plástica que proporciona un camino a las corrientes de aire para enfriar el interior del mismo por convección, minimizando así el calentamiento del sensor. El anillo de corte proporciona una excelente respuesta coseno.

El fotodiodo que utiliza como transductor responde en el espectro de los 280 a los 360nm (espectro de acción eritemática), por lo que abarca toda la banda UVB y parte del espectro de la banda UVA, esto lo hace óptimo para su implementación en este proyecto.



**Figura 45. Diagrama de conexiones del sensor Davis 6490.**

Recuperado de: <https://bit.ly/2UbDMiQ>

Este sensor es de uso profesional y originalmente está diseñado para ser usado en las estaciones meteorológicas fabricadas por Davis Instruments.



En la Tabla 9 se observan sus características principales. (Para mayor información puede revisar la hoja de características del sensor en el Anexo G).

**Tabla 9:**

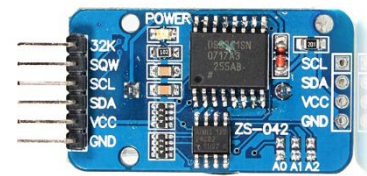
Características principales del sensor Davis 6490.

Parámetros	Características/Rango
Temperatura de operación	-40° a 65°C
Respuesta espectral	280 a 360nm
Tipo de cable	4 conductores, 26 AWG con un conector modular RJ11
Tensión de alimentación	+3V $\pm$ 10%, 2.4 mA
Resolución	0.1 UVI
Rango de medición	0 a 16 UVI
Salida	150mV por UVI <sup>5</sup>

**Nota.** Adaptado de <https://bit.ly/2UbDMiQ>. Davis (s.f.). UV sensor 6490

### 6.1.2.3 Reloj de tiempo real (RTC):

El microcontrolador y la Raspberry Pi no cuentan con un reloj de tiempo real, por lo que es necesario utilizar un chip dedicado para la gestión del tiempo. Para este proyecto se usó un módulo RTC DS3231 sus principales características son: Alta precisión, un bus de comunicación I<sup>2</sup>C y un oscilador de cristal compensando en temperatura. El DS3231 puede contar segundos, minutos, horas, día de la semana, mes y año (hasta el 2100). Para mayor información ver su hoja de características en el Anexo G.



**Figura 46. Módulo DS3231.**

Recuperado de:

<https://bit.ly/2U0rmuW>

### 6.1.2.4 Pantalla LCD

Para este proyecto se utilizó una pantalla LCD 20x4 la cual trae incorporado un chip PCF8574 (ver Anexo G) por lo que puede ser conectada a un microcontrolador por medio del bus I<sup>2</sup>C. El propósito de la implementación de esta pantalla es el de monitorizar la medición de cada uno de los sensores, configurar y ver los datos



**Figura 47. Vista posterior pantalla LCD I<sup>2</sup>C.**

Recuperado de: <https://bit.ly/2uBDQd4>

<sup>5</sup> UVI: Índice de radiación ultravioleta.

del RTC, no es un elemento indispensable dentro del sistema pues la configuración del RTC puede realizarse por software, sin embargo, sirve como un instrumento de depuración, ya que todos los parámetros del proyecto se pueden visualizar en ella.

#### 6.1.2.5 Pantallas de 7 segmentos

Para la visualización de la hora, la temperatura y la humedad relativa se implementaron pantallas de 7 segmentos de 2.3 pulgadas con modelo NFD-23011BS-11 (ver Anexo G).



**Figura 48. Pantalla NFD-23011BS-11.**

Fuente: Elaboración propia.

#### 6.1.2.6 Driver de pantallas de 7 segmentos

El MAX7219 (ver Anexo G) es un driver para el control de hasta 8 pantallas de 7 segmentos del tipo cátodo común. Sus características principales son las siguientes:



**Figura 49: MAX7219 fabricado por Maxim.**

Recuperado de:

<https://bit.ly/2FMB8rF>

Utiliza una interfaz SPI<sup>6</sup> a una frecuencia de 10MHz para su conexión a la mayoría de microcontroladores.

Puede proporcionar hasta 40mA para cada segmento, para su utilización con pantallas de mayor consumo deben utilizarse componentes adicionales.

Al separar del microcontrolador el trabajo de redibujar la pantalla, pueden utilizarse con microcontroladores de bajos recursos sin problemas de rendimiento como parpadeo o redibujado desigual.

Como el bus serie que utilizan es suficientemente rápido, el valor mostrado en la pantalla puede refrescarse a buena frecuencia, sin esfuerzo para el microcontrolador, e incluso mostrar fácilmente movimiento.

Según la hoja de datos, el Max7219 puede operar hasta una temperatura de 70°C.

---

<sup>6</sup> Serial Peripheral Interface

#### 6.1.2.7 Drivers de tensión y corriente UDN2981, ULN2803A

El UDN2981 (ver Anexo G) es un driver de fuente de 8 canales, compatible con entradas TTL, DTL, PMOS, o CMOS. Su principal aplicación es para la interfaz entre la lógica de bajo nivel y las cargas de alta tensión y corriente. Este chip puede proporcionar hasta 500mA por cada pin de salida con una tensión máxima de 50V.

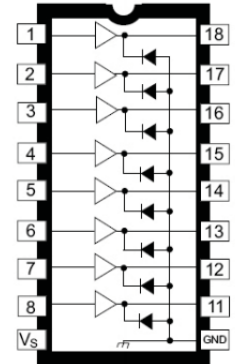


Figura 50. Diagrama de bloques UDN2981

Recuperado de:

<https://bit.ly/2CHOle8>

El ULN2803A (ver Anexo G) es un buffer inversor con un arreglo de transistores Darlington de alta tensión y alta corriente, cuenta con 8 salidas que pueden proporcionar hasta 500mA con una tensión de 50V. Este IC cuenta con un resistor de 2.7kΩ en la base de cada par de transistores Darlington para su operación directa por dispositivos con lógica TTL o 5V CMOS.

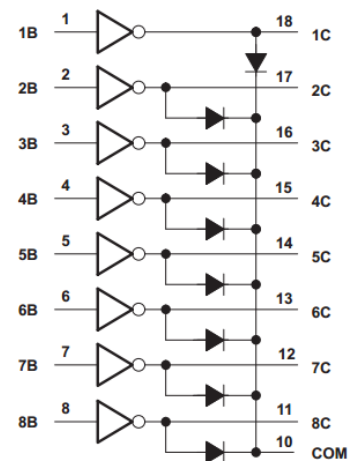


Figura 51. Diagrama lógico ULN2803A.

Recuperado de:

<https://bit.ly/2gMQ2UW>

Las hojas de datos del UDN2981 y del ULN2803A especifican que estos dispositivos pueden operar hasta una temperatura de 85°C.

#### 6.1.2.8 Arduino Nano

Para la implementación de este proyecto se utilizó una placa Arduino Nano; esta placa diseñada para el desarrollo de prototipos, usa el microcontrolador ATmega328P con un oscilador de 16MHz y se programa en lenguaje C o C++ adaptado a microcontroladores AVR<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Los AVR son una familia de microcontroladores RISC del fabricante Atmel.

**Tabla 10:**

Características principales del microcontrolador ATmega328P

Descripción	Características
Total pines E/S	14
Pines PWM 8bits	6
Entradas analógicas	8, con un ADC de 10bits
Pines interrupción externa	2
Corriente máxima pines E/S	40mA
Memoria Flash	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB

**Nota.** Adaptado de <https://bit.ly/2zG9sjO>. electronilab.co (s.f.). *Arduino Nano V3*

El Arduino Nano puede ser alimentado usando el cable USB Mini-B, con una fuente externa no regulada de 6-20V, o con una fuente externa regulada de 5V. La fuente de alimentación es seleccionada automáticamente a aquella con mayor tensión, también cuenta con un chip CH340 para la comunicación USB serial. Sus dimensiones (18.5mm x 43.2mm) lo hacen óptimo para tablas de nodo o para colocarlo directamente en tarjetas PCB ya sea soldado o por medio de terminales hembra. Debido a la comunidad de desarrolladores que usan esta placa, existen en línea una gran cantidad de librerías, esto reduce considerablemente el tiempo necesario para el desarrollo del código de programación.

**Figura 52. Arduino Nano.**Recuperado de: <https://bit.ly/2JKwjmVduino>

El IDE para la programación de Arduino puede descargarse gratuitamente de la siguiente dirección: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>.

### 6.1.3 Diseño e implementación de la interfaz de visualización

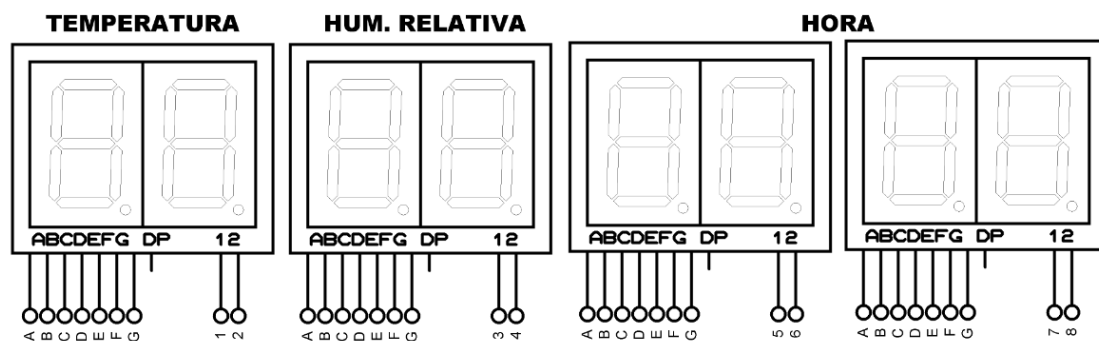
#### 6.1.3.1 Pantalla LCD

Para controlar la pantalla LCD 20x4 se utilizó la librería LiquidCrystal\_I2C.h en su versión 1.1, ésta puede ser descargada de forma gratuita desde el siguiente enlace: <https://github.com/fdebrabander/Arduino-LiquidCrystal-I2C-library>.

### 6.1.3.2 Pantallas de 7 segmentos

Para la visualización de la hora, la temperatura y la humedad relativa se implementaron pantallas de 7 segmentos de 2.3" con modelo NFD-23011BS-11, estas pantallas son del tipo ánodo común, según su hoja de datos (ver Anexo G), cada segmento consume 20mA, deben alimentarse con una tensión de entre 7.4 y 8.8V y pueden operar hasta una temperatura de 80°C. Este tipo de pantallas tienen un segmento especial para el punto decimal, en este proyecto no fue utilizado tal segmento pues se presentan solamente valores enteros.

El arreglo de pantallas de 7 segmentos utilizado se puede observar en la Figura 53.



**Figura 53. Arreglo de pantallas de 7 segmentos.**

Fuente: Elaboración propia.

Una vez determinado el arreglo para las 8 pantallas, es necesario seleccionar el método para controlarlas; se consideraron dos métodos: Control total vía microcontrolador (es decir, el microcontrolador realiza la multiplexación y la codificación BCD vía software) y control por medio de un chip especializado. En este proyecto se implementó el control por medio de un chip especializado, el MAX7219.

Se tomó esta decisión porque para realizar el control solamente por medio del microcontrolador sería necesario utilizar 15 pines digitales, diseñar el código para que realice la multiplexación y la conversión de los datos a BCD y en dependencia de la optimización del mismo, y de las demás funciones que estén ejecutándose en el microcontrolador, podrían ocurrir efectos, tales como parpadeos o un redibujado desigual en las pantallas.

Con la implementación del MAX7219, (además de las características presentadas en 1.2.6 y en su hoja de datos), solamente se utilizaron 3 pines digitales del microcontrolador para controlar las 8 pantallas de 7 segmentos, dejando así, 10 pines digitales disponibles para el resto de funciones del proyecto.

### 6.1.3.3 Implementación del controlador con el MAX7219

Las pantallas implementadas en este proyecto (como se mencionó anteriormente) son del tipo ánodo común. En la Figura 54 se muestra el diagrama interno de las mismas.

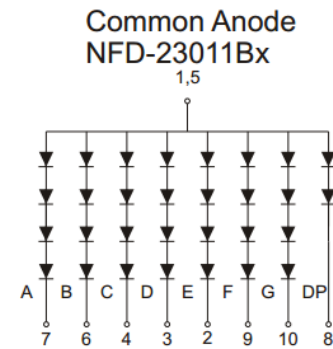


Figura 54. . Diagrama interno de las pantallas 7 segmentos.

Fuente: Ningbo Flying Electronics

El MAX7219 está diseñado para ser implementado con pantallas del tipo cátodo común y no puede proporcionar una tensión de segmento mayor a 3.5V, sin embargo, las pantallas de 7 segmentos NFD-23011BS-11 son del tipo ánodo común y requieren una tensión de entre 7.4 y 8.8V para su operación; esto hace necesario la utilización de dispositivos adicionales para realizar la interfaz del controlador con las pantallas. En la Figura 55 se observa el diagrama esquemático del circuito que fue diseñado por los autores para dar solución a este inconveniente.

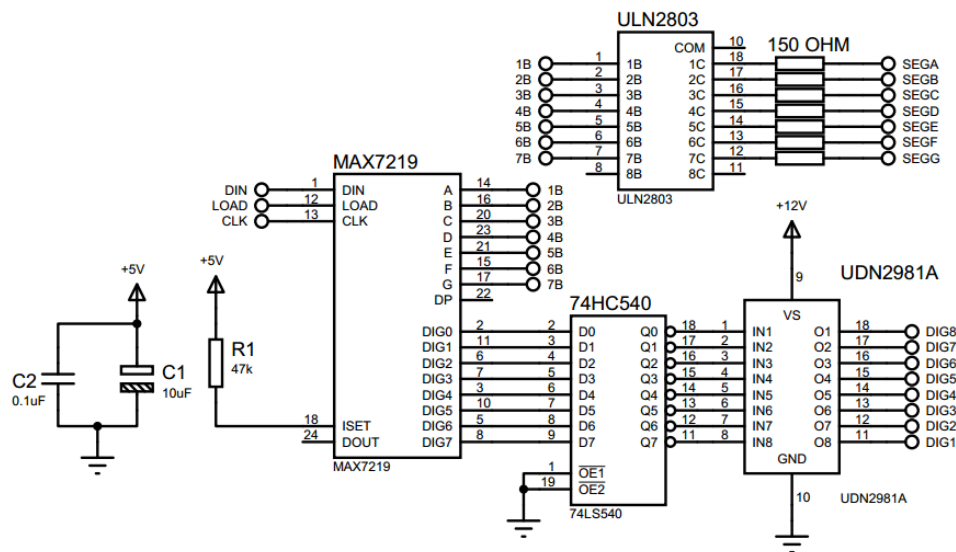


Figura 55. Diagrama esquemático del controlador de las pantallas de 7 segmentos.

Fuente: Elaboración propia.

Cómo se describe en 6.1.2.7, el UDN2981A y ULN2803 son drivers de tensión y corriente, los cuales en esta aplicación se encargan de proporcionar la potencia requerida por las pantallas de 7 segmentos.

Es necesario limitar la corriente de cada uno de los segmentos de la pantalla 23011BS-11, para ello, se utilizaron resistores en cada una de las salidas del ULN2803. La hoja de datos del fabricante menciona que la tensión de los LED de cada uno de los segmentos es de 7.4V y recomienda limitar la corriente a un máximo de 20mA, se decidió limitar la corriente de los segmentos a 15mA con el propósito de alargar la vida útil de las pantallas, ya que debido al aumento de la temperatura la corriente tiende a aumentar.

A continuación, se presentan los cálculos para determinar la magnitud y la potencia de los resistores de limitación:

El UDN2981A tiene un voltaje de saturación colector-emisor de 1.7V y se decidió alimentarlo con 12V; el ULN2803 tiene un voltaje de saturación colector-emisor de hasta 1V, esto suma 2.6V de caída entre ambos dispositivos.

Por ley de Ohm:

$$R = \frac{V}{I} \quad (10)$$

$$R = \frac{[(12V - 2.6V) - 7.4V]}{15mA}$$

$$R = 133.33\Omega$$

Se selecciona un valor comercial de 150Ω, ahora se calcula la potencia disipada en los resistores por medio de la ley de Watt:

$$P = I^2 R \quad (11)$$

$$P = (15mA)^2 (150\Omega)$$

$$P = 0.033W < 1/4W$$

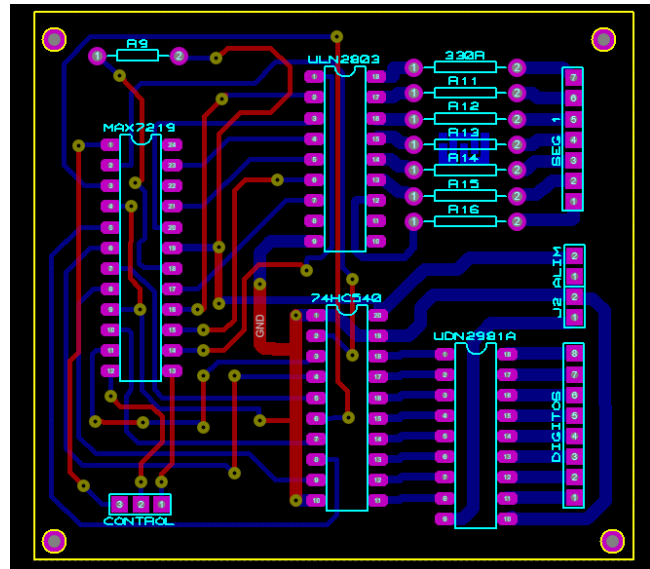


Se obtiene un valor de 0.033W, se puede seleccionar un resistor con una potencia de 0.25W es decir, 1/4W; en este proyecto se utilizaron resistores de 150Ω a 1/2W para asegurar la disipación de potencia a altas temperaturas.

En la Figura 55 se observan dos capacitores, C1 y C2, según la hoja de datos del MAX7219 su función es filtrar el voltaje de rizo de la fuente de alimentación y contrarrestar los efectos de la inductancia de los cables, estos deben ser colocados lo más cerca posible al dispositivo. También se observa un resistor R1, el fabricante especifica que debe ser de 47kΩ cuando el MAX7219 se esté utilizando con drivers de tensión y corriente adicionales (Para mayor información, ver la hoja de datos del dispositivo en el Anexo G).

#### 6.1.3.4 Diseño de la PCB del controlador de las pantallas

La hoja de datos del MAX7219 recomienda que en la PCB, el dispositivo debe estar lo más cerca posible a las pantallas, y las conexiones con las mismas deben ser lo más cortas posibles, con el propósito de minimizar los efectos de la inductancia en el cableado y la interferencia electromagnética, ya que a la frecuencia de trabajo del MAX7219 (10MHz) los cables se comportan como antenas.



**Figura 56. Primer diseño de la PCB del controlador de pantallas de 7 segmentos.**

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 56, se observa el primer diseño de la PCB para el controlador de las pantallas; una vez ensamblados los componentes se procedió a someterla a prueba con las 8 pantallas conectadas, durante los primeros minutos se observó un buen funcionamiento, pasados diez minutos se observó que todos los dígitos estaban mostrando el número 8 y se tenía que reiniciar el microcontrolador para poder restablecer el funcionamiento, se probó durante todo un día y se apagaban todos



los segmentos o mostraba el número 8 en todos ellos, también se observó que al encender una lámpara fluorescente (de las que usan cebador) todos los segmentos se apagaban y era necesario reiniciar el microcontrolador para que el sistema volviera a funcionar con normalidad.

Debido al diseño de la estructura (carcasa) del proyecto y al tamaño de las pantallas de 7 segmentos utilizadas (2.3 pulgadas), fue necesario utilizar cables largos para conectar el controlador con las pantallas. Estos cables se estaban comportando como antenas y estaban induciendo interferencia electromagnética en la circuitería de control, además en la primer versión de la PCB no se colocaron los capacitores C1 y C2 (mencionados en 6.1.3.3) cuyo propósito es contrarrestar los efectos de la inductancia de los cables que van del controlador hacia las pantallas, debido a esto, la circuitería estaba funcionando de manera errática.

Para solucionar estos problemas se hizo un rediseño en el circuito y se fabricó otra PCB, se colocaron los capacitores C1 y C2 próximos al MAX7219 (como lo recomienda la hoja de datos), además se incluyó un plano de masa tanto en la cara superior como en la inferior de la tarjeta. Para la conexión de las pantallas con la tarjeta de control se utilizó cable apantallado (de modo que funcionara como una jaula de Faraday), con el propósito de minimizar la interferencia electromagnética que estaba afectando el funcionamiento de los circuitos; con estas modificaciones se obtuvieron resultado satisfactorios.

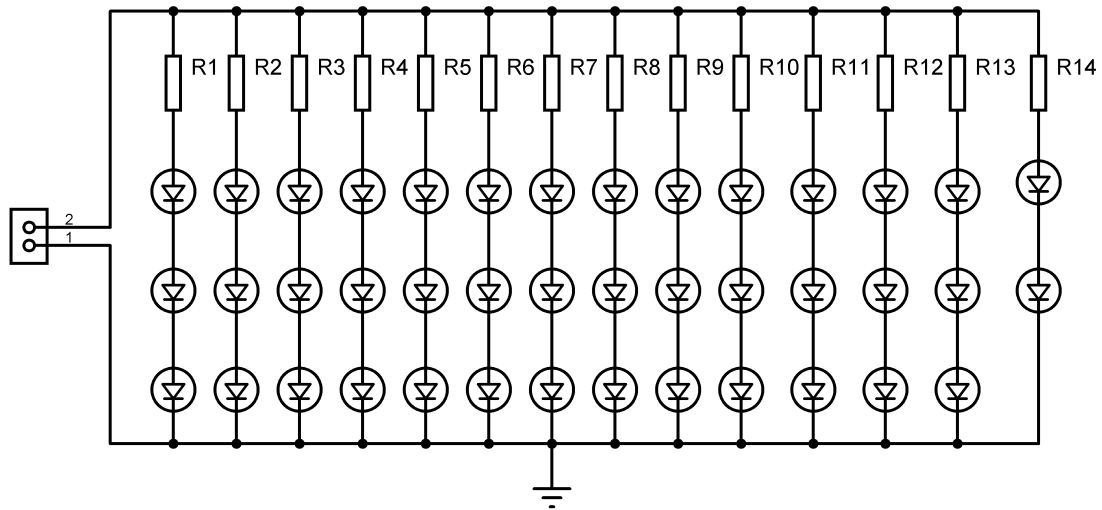
### 6.1.3.5 Lámparas LED

Para mostrar el código de colores establecido por la OMS para la representación del índice de radiación UV, se diseñaron 5 lámparas con LED de color: Verde, Amarillo, Naranja, Rojo y Violeta.



**Figura 57. . LED tipo bombín.**  
Fuente: Elaboración propia.

Se implementaron LED de 5mm del tipo bombín y de alto brillo, ya que éstos tienen un ángulo de apertura de aproximadamente 120 grados. En la Figura 56 se observa el arreglo de LED utilizado para la implementación de las lámparas y en la Tabla 4 se muestran las características eléctricas de los mismos.



**Figura 58: Arreglo LED para las lámparas.**  
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 11:**

Características eléctricas de los LED implementados

Color de LED	Tensión	Corriente
Verde	3.0-3.2V	20mA
Amarillo	2.0-2.2V	20mA
Naranja	2.0-2.2V	20mA
Rojo	2.0-2.2V	20mA
Violeta	3.2-3.4V	20mA

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

El circuito de la Figura 58 está formado por 13 ramas de 3 LED en serie y una rama de 2 LED en serie, cada una con su respectivo resistor de limitación de corriente; todo el arreglo se alimenta a 12V. A continuación se muestra el cálculo del resistor de limitación para los LED de color verde, luego, en la Tabla 12 puede observarse el valor de los resistores para el resto de los colores.

a) Rama de 3 LED en serie (R1 a R13):

$$V_{serie} = (3 * V_{LED}) \quad (12)$$

$$V_{serie} = (3 * 3.2V) \rightarrow V_{serie} = 9.6V$$

Por ley de Ohm:

$$R_{Lim} = \frac{V_{Alim} - V_{LED}}{I} \quad (13)$$

$$R_{Lim} = \frac{12V - 9.6V}{20mA}$$

$$R_{Lim} = 120\Omega$$

Por ley de Watt:

$$P_D = I^2 R_{Lim} \quad (14)$$

$$P_D = (20mA)^2 * 120\Omega$$

$$P_D = 0.048W < 1/4W$$

b) Rama de 2 LED en serie (R14):

$$V_{serie} = (2 * 3.2V) \rightarrow V_{serie} = 6.4V$$

Por ley de Ohm:

$$R_{Lim} = \frac{12V - 6.4V}{20mA}$$

$$R_{Lim} = 280\Omega \rightarrow 270\Omega, \text{ valor comercial.}$$

Por ley de Watt:

$$P_D = (20mA)^2 * 270\Omega$$

$$P_D = 0.11W < 1/4W$$

**Tabla 12:**

Valor de resistencia de limitación para los distintos colores de LED

Color de LED	R <sub>Lim</sub> rama 3 LED	R <sub>Lim</sub> rama 2 LED
Verde	120Ω	270Ω
Amarillo	270Ω	390Ω
Naranja	270Ω	390Ω
Rojo	270Ω	390Ω
Violeta	120Ω	270Ω

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

En todos los cálculos, la potencia que disipan los resistores de limitación es menor a 1/4W, sin embargo, debido a la temperatura que pueden alcanzar los LED y sumado a ello la temperatura ambiente, se decidió por seguridad, implementar resistores de 1/2W, de esta forma se asegura que los resistores limitarán la corriente a 20mA aún a altas temperaturas.

#### 6.1.3.6 Diseño del driver de las lámparas LED

Para determinar el consumo de corriente total de las lámparas LED se debe multiplicar el número total de ramas, por la corriente de cada rama:

$$I_{total} = 14 * 20mA$$

$$I_{total} = 280mA$$

El microcontrolador ATmega328P puede proporcionar 5V con una corriente máxima de 40mA por cada pin, por tanto se necesita de un circuito que haga de interfaz entre las lámparas LED y los pines digitales del microcontrolador. Inicialmente se pensó utilizar transistores BJT, sin embargo, este tipo de transistores requiere de una corriente de base considerable para entrar en la zona de saturación, corriente que en dependencia del transistor podría superar los 40mA que puede proporcionar el microcontrolador, así que se optó por implementar el driver con el transistor MOSFET; este tipo de transistores se controlan por medio de tensión y no de corriente. En la Figura 59 se observa el

circuito que se diseñó. Se implementó un transistor MOSFET IRF1404, se eligió este transistor porque con una tensión VGS de 5V puede proporcionar por el drenador una corriente ID de hasta 50A (ver la hoja de datos del fabricante en el Anexo G) por lo que no se necesita de un circuito de acondicionamiento adicional entre el microcontrolador y el transistor.

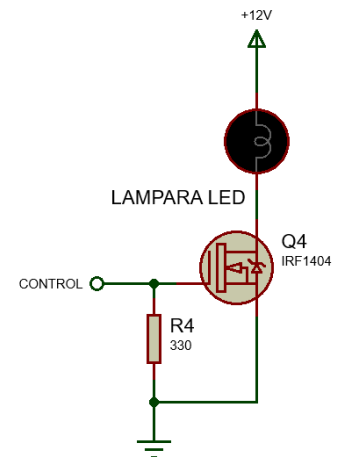
#### 6.1.4 Interfaz de entrada de datos

La interfaz de entrada de datos está formada por tres pulsadores, con las funciones de: SUBIR, ENTER y BAJAR; se utiliza solamente para realizar el ajuste de los parámetros del RTC DS3231.

Para no utilizar tres pines digitales (uno para cada pulsador) se realizó el arreglo que se muestra en la Figura 59, de tal forma que con una sola entrada del ADC del microcontrolador se puede leer el estado de los pulsadores (uno a la vez).

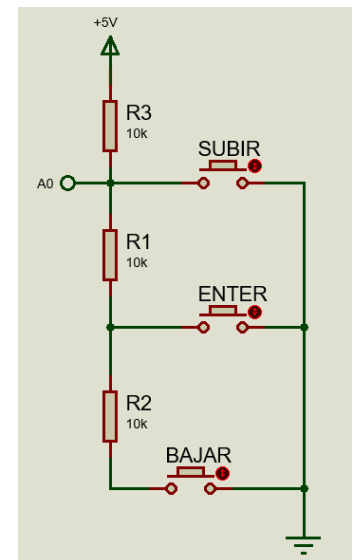
El circuito de la Figura 60 se basa en el principio del divisor de tensión resistivo; al pulsar el botón SUBIR, se obtiene en la salida A0 una tensión de 0V, al pulsar el botón ENTER se obtiene una salida de 2.5V y al pulsar el botón BAJAR se obtiene una salida de 3.36V aproximadamente; cuando ninguno de los botones es pulsado en la salida A0 hay una tensión de 5V.

A continuación se muestra el cálculo del valor de salida del ADC para cada uno de los valores de entrada, dicho cálculo se realiza empleando la Ecuación 15 proporcionada por STMicroelectronics (s.f., p.34), este valor luego se utiliza para escribir el programa del microcontrolador para la lectura de los estados de los pulsadores.



**Figura 59. Circuito de control para una de las lámparas LED.**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 60. Esquema de la interfaz de entrada.**

Fuente: Elaboración propia.

$$Salida\ ADC = \frac{2^n - 1}{V_{ref}} * V_{in} \quad (15)$$

Donde n es la resolución del ADC, 10 bits para el ATmega328P.

Vref es el voltaje de referencia del ADC, 5V por defecto para el ATmega328P.

Vin es la tensión analógica de entrada del ADC.

Con los datos anteriores, la ecuación anterior se simplifica así:

$$Salida\ ADC = \frac{1023}{5V} * V_{in} \quad (16)$$

Para Vin= 2.5V

$$Salida\ ADC = \left(\frac{1023}{5V}\right)(2.5V)$$

$$Salida\ ADC = 511.5 \cong 512$$

Para Vin = 3.36V

$$Salida\ ADC = \left(\frac{1023}{5V}\right)(3.36V)$$

$$Salida\ ADC = 687.45 \cong 688$$

Para Vin= 0V, Salida ADC = 0.

Para Vin = 5V, Salida ADC = 1023.

Una vez conocidos los valores de salida del ADC para cada posible valor de entrada, se presenta el siguiente pseudocódigo con el cual se pretende ilustrar las condiciones para que el microcontrolador interprete el botón que fue presionado.

```
funcion botones{  
  
    Si (lectura ADC > 300 && lectura ADC < 600) Entonces  
        Se presionó el botón ENTER;  
    FinSi  
  
    Si (lectura ADC < 300) Entonces  
        Se presionó el botón SUBIR;  
    FinSi  
  
    Si (lectura ADC > 600 && lectura ADC < 700) Entonces  
        Se presionó el botón BAJAR;  
    FinSi  
}
```

Como se observa, los rangos no se dejaron tan estrechos por la tolerancia de los resistores implementados en los divisores de tensión y por la tensión misma con la que se está alimentando el circuito, ya que su magnitud puede que no sea 5V exactos.

#### **6.1.5 Interfaz de comunicación**

El Arduino Nano cuenta con un puerto USB para la comunicación serie con otros dispositivos. En este proyecto, el Arduino Nano se conecta por medio de ese puerto con una placa Raspberry Pi, con el propósito de almacenar en un servidor de base de datos las mediciones de cada uno de los sensores. Los datos almacenados luego pueden ser consultados por medio de una página web.

Para la comunicación con la Raspberry Pi, se configuró el puerto USB serial del Arduino Nano a su máxima velocidad, 115200 baudios; el propósito de dicha configuración es que el microcontrolador pueda responder lo más rápido posible a las peticiones que realice la Raspberry Pi. A continuación se presenta el pseudocódigo de la función para la comunicación serial:

```

función comunicacion_serial()
{

    Mientras haya datos en el puerto serie Hacer

        comando = lectura del puerto serie;

        Si (comando == 'A') Entonces

            Enviar por el puerto serie la medición de
            temperatura,humedad relativa, índice de radiación uv;
        FinSi

        Si (comando == 'B') Entonces

            Enviar por el puerto serie la medición de
            temperatura,humedad relativa, color, índice de radiación
            uv;
        FinSi

    FinMientras
}

```

## 6.1.6 Fuente de alimentación DC

### 6.1.6.1 Tecnologías para el diseño de fuentes de alimentación

Una fuente de alimentación asume un rol único dentro de un sistema, en muchos aspectos puede considerarse como la madre del mismo. Su función es proporcionar una potencia constante a los circuitos que conforman el sistema sin importar las perturbaciones que puedan ocurrir en la entrada de la fuente.

Según Marty Brown (2001), el proceso de selección de la tecnología a implementar para el diseño de una fuente de alimentación es el siguiente:

- Costo.
- Peso y espacio.
- Cuánto calor se puede generar dentro del producto.
- Las fuentes de potencia de entrada.
- La tolerancia al ruido de los circuitos de carga.
- La duración de la batería (si el dispositivo lo requiere).



- El número de voltajes de salida requeridos y sus características particulares.
- El tiempo de elaboración del dispositivo.

Marty Brown (2001), explica que existen tres grandes tecnologías que pueden ser consideradas al momento de diseñar una fuente de alimentación:

1. **Fuentes de alimentación que utilizan reguladores lineales:** Son usados predominantemente en quipos donde la generación de calor y la baja eficiencia no sean la mayor de las preocupaciones y también donde el bajo costo y el corto tiempo de diseño son factores clave. Estas son muy populares en sistemas de poder que trabajan en voltajes por debajo de 40VDC... Los reguladores lineales solo pueden producir voltajes menores al voltaje de entrada. Cada regulador lineal tiene un promedio de eficiencia entre 35 y 50 por ciento. Las pérdidas son disipadas en forma calor.
2. **Fuentes conmutadas por PWM:** Las Fuentes conmutadas por PWM son mucho más eficientes y flexibles que los reguladores lineales. Uno de los campos en el cual son mayormente utilizadas es en productos portables, productos automotrices, pequeños instrumentos, aplicaciones off-line y aplicaciones donde la eficiencia y múltiples salidas sean requeridas. Su peso es menor comparado con los reguladores lineales y requieren un disipador de calor más pequeño para la misma potencia de salida. Sin embargo, tienen un costo mayor, requieren un mayor tiempo de desarrollo y generan mucho ruido eléctrico.
3. **Fuentes de alimentación conmutadas de alta eficiencia con tecnología resonante:** Son una variación de las fuentes conmutadas PWM básicas, su campo de aplicación es en dispositivos donde se requiera un peso aún menor, un tamaño más pequeño y lo más importante, donde se necesite una cantidad reducida de ruido radiado (interferencia). Los productos comunes donde se utilizan este tipo de fuentes son en la aeronáutica y en equipos portátiles y livianos. La desventaja de esta tecnología es que

requiere un tiempo mayor de diseño de ingeniería y cuestan más que las otras dos tecnologías. (Brown, 2001, p. 4)

#### **6.1.6.2 Diseño e implementación de la fuente de alimentación**

Para la etapa de diseño y depuración de los circuitos que conforman el proyecto se utilizó una fuente de alimentación DC de laboratorio para brindar la potencia necesaria a cada uno de ellos; una vez implementados, se procedió a medir con un amperímetro el consumo de corriente en cada una de las salidas de la fuente de alimentación se obtuvieron los siguientes resultados:

- Salida de 3V: 2.5mA.
- Salida de 5V: 50mA.
- Salida de 12V: 370mA, hasta 792mA al encender el equipo.

El consumo máximo total de corriente es de 844.5mA, el único requerimiento especial de la fuente de alimentación, es que sea de bajo ruido eléctrico, ya que como se describió en 6.1.3.4, éste puede afectar el funcionamiento correcto del controlador de las pantallas de 7 segmentos.

Basados en los parámetros brindados por Brown (2001), se decidió implementar para este proyecto una fuente de alimentación lineal, puesto que:

- Las fuentes de alimentación lineal son de bajo ruido eléctrico.
- La tensión de suministro más alta es de 12V, tensión que está por debajo de los 40V.
- Son de bajo costo de fabricación y sus componentes se consiguen fácilmente en el mercado local.
- El equipo se alimenta por medio de la red eléctrica por tanto no se necesita una alta eficiencia en los reguladores.
- La carcasa del proyecto es lo suficientemente grande como para instalar en su interior el transformador y la circuitería de la fuente con sus respectivos disipadores de calor.

### 6.1.6.3 Determinación del capacitor de filtrado y del transformador

El voltaje regulado máximo necesario en la fuente de alimentación es de 12V, para la regulación se implementó un regulador lineal monolítico, el cual necesita una tensión diferencial de entrada/salida mínima de 2 a 3V (Malvino & Bates, 2007, p.915). Por seguridad se seleccionó 3V, por tanto, la tensión de salida no regulada mínima de la fuente de alimentación debe ser de  $V_{dc}=15V$ . Por ley de Kirchhoff, la corriente DC total que debe entregar la fuente, es la suma de las corrientes de cada una de las salidas de tensión:

$$I_o = 2.5mA + 50mA + 792mA$$

$$I_o = 844.5mA$$

$$I_{dc} = I_o * 2$$

$$I_{dc} = 1689mA$$

Este valor, se multiplica por un factor 2, debido a la eficiencia de los reguladores de tensión y a la pérdida que puede haber en los cables. Teniendo ese dato, se procede a calcular el capacitor de filtrado tal que el factor de rizo  $f_r=10\%$  de  $V_{dc}$ .

$$f_r = \frac{V_{rrms}}{V_{dc}} * 100 \quad (17)$$

$$V_{rrms} = \frac{f_r}{100} * V_{dc}$$

$$V_{rrms} = \left(\frac{10}{100}\right)(15V)$$

$$V_{rrms} = 1.5V$$

$$V_{rrms} = \frac{2.4 * I_{dc}}{C} \quad (18)$$

$$C = \frac{2.4 * I_{dc}}{V_{rrms}} \quad (19)$$

$$C = \frac{(2.4)(1689mA)}{1.5V}$$

$$C = 2702\mu F$$

Los valores de capacitores comerciales más próximos al resultado son de 2200μF y 3300 μF, conviene seleccionar el valor inferior (2200μF) ya que “el capacitor también afecta la corriente pico a través de los diodos de rectificación [...] cuanto más grande sea el valor del capacitor, mayor será la corriente pico extraída por conducto de los diodos de rectificación.” (Boylestad, 2009, p.778)

Una vez obtenido el valor del capacitor se procede a calcular la tensión RMS mínima en el secundario del transformador:

$$V_{dc} = V_m - \frac{4.17I_{dc}}{C} \quad (20)$$

$$V_m = V_{dc} + \frac{4.17I_{dc}}{C} \quad (21)$$

$$V_m = 15V + \frac{(4.17)(1689mA)}{2200\mu F}$$

$$V_m = 18.2V$$

$$V_m = V_{rms}\sqrt{2} - 1.4V \quad (22)$$

$$V_{rms} = \frac{\sqrt{2}}{2}(V_m + 1.4V) \quad (23)$$

$$V_{rms} = 0.7071(18.2V + 1.4V)$$

$$V_{rms} \cong 14V$$

El secundario del transformador debe ser capaz de proporcionar una tensión de 14Vrms, y una corriente de 2A.

#### 6.1.6.4 Diseño de la etapa de regulación de 12V

Para regular la tensión de 12V se utilizó el LM7812, se calcula la potencia que debe disipar el regulador por medio de la ley de Watt:

$$P_D = (V_{in} - V_o)I_o \quad (24)$$

$$P_D = (15V - 12V)(0.792A)$$

$$P_D = 2.4W$$

Luego, se calcula la potencia que puede disipar el regulador bajo las condiciones térmicas en las que se prevé estará operando, para ello se seleccionó una temperatura ambiente  $T_a$  de 50°C, ya que el sol le dará de forma directa a la estructura del proyecto:

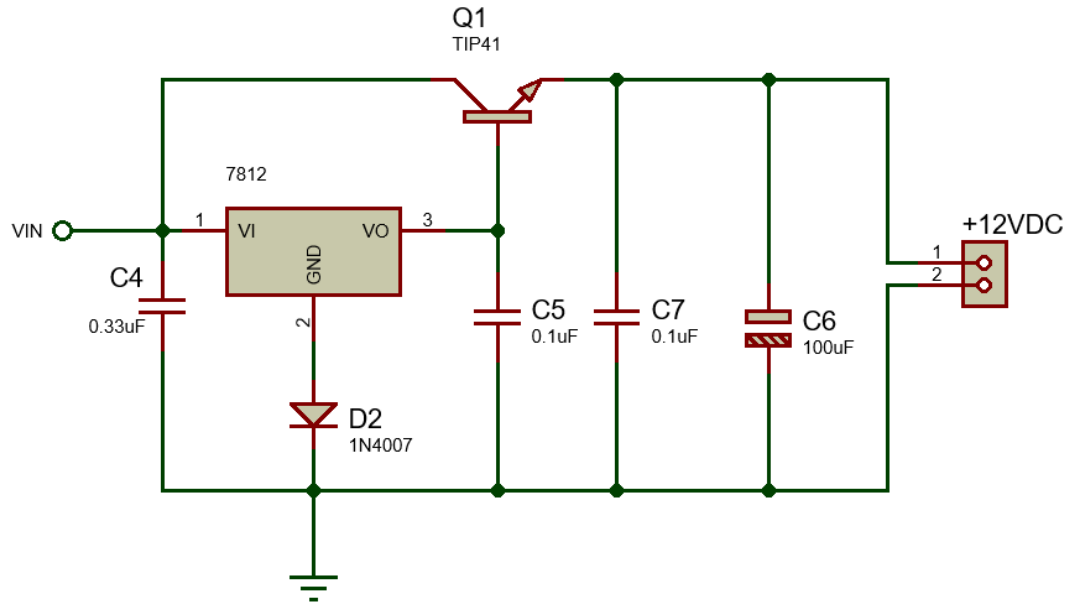
$$P = \frac{T_{Jmax} - T_{Amax}}{\theta_{JA}} \quad (25)$$

$$P = \frac{125 - 50}{65}$$

$$P = 1.15W$$

Los parámetros  $T_{Jmax}$  y  $\theta_{JA}$  se obtienen de la hoja de datos del dispositivo, ver Anexo G.

Los cálculos anteriores muestran que el LM7812 sin disipador puede proporcionar solamente 1.15W, para disipar los 2.4W es necesario añadir un disipador de calor al regulador. La corriente que debe proporcionar el LM7812 es de 0.792A y si a esto le sumamos más cargas como por ejemplo algunos ventiladores para extraer el calor del interior de la estructura del proyecto fácilmente se alcanzaría 1A de consumo, es decir, lo máximo que puede proporcionar el dispositivo. Dadas estas circunstancias, se diseñó el circuito que se observa en la Figura 61.



**Figura 61. Diagrama esquemático del regulador de 12V.**  
Fuente: Elaboración propia.

Este circuito es un regulador serie discreto, el LM7812 se está utilizando como una referencia de tensión, el transistor de paso TIP41 está en la configuración seguidor emisor, el diodo 1N4007 se utiliza para aumentar la tensión de salida del LM7812 en 0.7V, para corregir la caída de tensión  $V_{BE}=0.7V$  del transistor, de tal forma que a la salida hayan 12V, los valores de los capacitores son proporcionados por el fabricante del LM7812. (Brown, 2001)

Ahora se procede a calcular la corriente máxima que puede proporcionar el TIP41 sin disipador de calor por medio de la ley de Watt:

$$P = \frac{150 - 50}{57}$$

$$P = 1.75W$$

$$I_o = \frac{P}{V_{in} - V_o} \quad (26)$$

$$I_o = \frac{1.75}{(15 - 12)}$$

$$I_o = 0.58A$$

Según la hoja de datos (ver Anexo G), el TIP41 puede proporcionar una corriente de hasta 6A, sin embargo, bajo las condiciones anteriores, solo puede proporcionar 0.58A sin colocarle disipador. El regulador debe proporcionar al menos 0.792A, que es el pico máximo de consumo de corriente; para que el TIP41 pueda proporcionar corrientes mayores a 0.58A, es necesario añadir un disipador de calor; las características y dimensiones del disipador se pueden calcular, sin embargo, en el mercado local no existen tiendas donde se puedan comprar y donde proporcionen las características térmicas de los mismos, así que de forma empírica, se buscó en la chatarra electrónica un disipador para encapsulado TO-220 de buen tamaño y ese se le colocó al transistor TIP41, usando pasta térmica para mejorar la transferencia de calor. Este mismo procedimiento se llevó a cabo con el resto de los semiconductores que requerían de un disipador de calor.

#### **6.1.6.5 Diseño de la etapa de regulación de 5V**

Para la salida de 5V se utilizó el LM7805, para esta aplicación debe suministrar como máximo 50mA, se calcula la potencia que debe disipar el regulador por medio de la ley de Watt:

$$P_D = (15V - 5V)(0.05A)$$

$$P_D = 0.5W$$

Luego, se calcula la potencia que puede disipar el regulador bajo las condiciones térmicas en las que se prevé estará operando, para ello se seleccionó una temperatura ambiente  $T_a$  de 50°C, ya que el sol le dará de forma directa a la estructura del proyecto. Por ley de Watt:

$$P = \frac{125 - 50}{65}$$

$$P = 1.15W$$

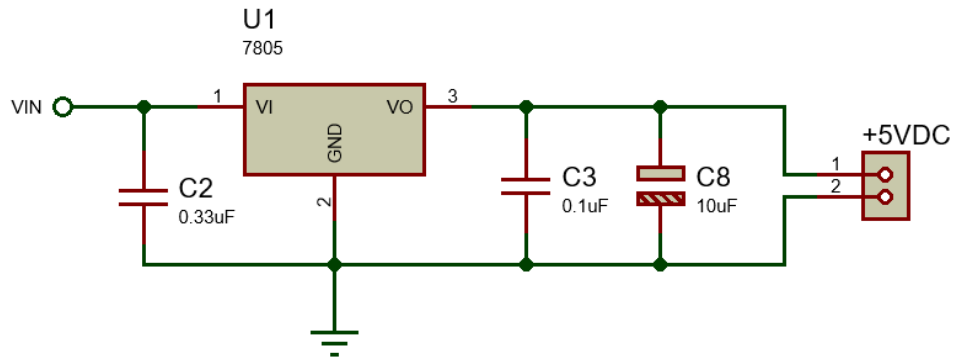
Ahora se calcula la corriente máxima que puede proporcionar, por ley de Ohm:

$$I_o = \frac{1.15W}{(15V - 5V)}$$

$$I_o = 115mA$$

Del cálculo anterior se concluye que el LM7805 puede proporcionar los 50mA requeridos y además puede implementarse sin necesidad de disipador de calor, pero para alargar la vida útil del semiconductor, se recomienda colocárselo.

En la Figura 62 se observa el diagrama esquemático del regulador de 5V diseñado, los valores de los capacitores son proporcionados por el fabricante del LM7805 en su hoja de datos (ver Anexo G).

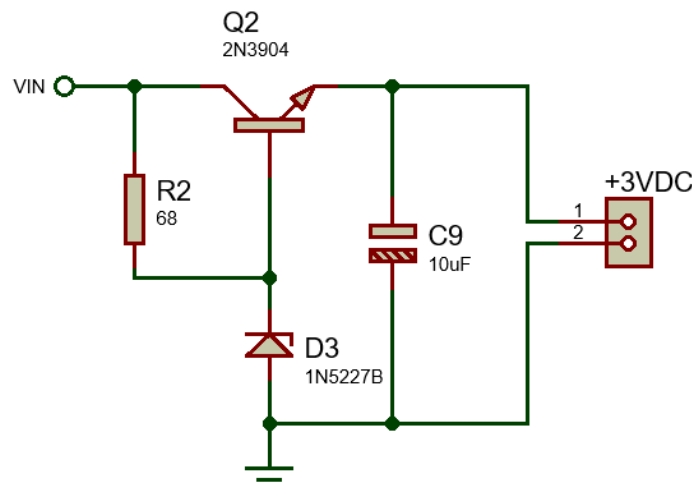


**Figura 62. Diagrama esquemático del regulador de 5V.**

Fuente: Elaboración propia.

#### 6.1.6.6 Diseño de la etapa de regulación de 3V

La salida de 3V solamente se utiliza para alimentar el sensor Davis 6490, y debe proporcionar 2.5mA como máximo. Una tensión de 3V, no es estándar, en el mercado se encuentran reguladores de 3.3V, pero no de 3V. Por ello, se diseñó un regulador de 3V discreto, el circuito puede observarse en la Figura 63.



**Figura 63. Diagrama esquemático del regulador de 3V.**

Fuente: Elaboración propia.



En este circuito, el diodo zener 1N5227B de 3.6V se utiliza como referencia de tensión y el transistor 2N3904 está en configuración seguidor emisor, el capacitor en la salida es para compensar la inductancia de los cables, y el resistor R2 limita la corriente necesaria para que el diodo entre en la región zener.

Aplicando la ley de Kirchhoff al circuito de la figura 63, la tensión de salida de este regulador está dada por:

$$V_o = V_z - V_{BE} \quad (27)$$

$$V_o = 3.6V - 0.7V$$

$$V_o = 2.9V$$

No se obtienen 3V exactos, pero el Davis 6490 se alimenta con  $3V \pm 10\%$  (ver Anexo G), por lo que 2.9V está en ese margen.

Por medio de la ley de Ohm, el resistor de limitación R2 está dado por:

$$R = \frac{V_{in} - V_z}{I_{ZT}} \quad (28)$$

$$R = \frac{5V - 3.6V}{20mA}$$

$$R = 70\Omega \rightarrow 68\Omega \text{ valor comercial}$$

La simulación de la fuente de alimentación puede verse en el Anexo A.

## 6.2 Interfaz web

La página web del Solmáforo se implementó utilizando los frameworks Laravel y Bootstrap. Laravel ayuda a proteger a la aplicación web de ataques SQL Injection<sup>8</sup>, además facilita la gestión y la escalabilidad del código, evitando así la formación del código “espagueti”. Bootstrap permite que el contenido de la página

---

<sup>8</sup> Sql Injection ó Inyección SQL es una vulnerabilidad que permite al atacante enviar o “inyectar” instrucciones SQL de forma maliciosa y malintencionada dentro del código SQL programado para la manipulación de bases de datos.

web se adapte a cualquier resolución de pantalla que pueda tener el dispositivo cliente.



**Figura 64. Vista principal de la página web.**

Fuente: Elaboración propia.

Por medio de la interfaz web se pueden observar las mediciones de cada uno de los sensores del Solmáforo, información que se actualiza automáticamente cada dos minutos por medio de AJAX, de tal forma que solo se cargan los datos correspondientes a las mediciones y no toda la página web en sí, además; se tiene una tabla implementada con la librería DataTables donde se puede observar el historial de las mediciones de los sensores, datos que se pueden exportar a una hoja de cálculo de Excel o a un documento PDF.

### 6.2.1 Servidor web y de base de datos

Para servir la página web se utilizó el servidor web Apache, y para el almacenamiento de las mediciones de los sensores, se utilizó un servidor de base de datos MariaDB. Ambos servidores se implementaron en una placa Raspberry PI 2 modelo B. La instalación de ambos servidores puede verse en el Anexo C, para la gestión de la base de datos se utilizó phpMyAdmin.

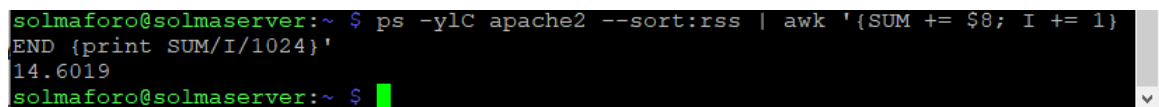
Para la comunicación entre el microcontrolador y el servidor de base de datos, se desarrolló un script utilizando el lenguaje de programación Python (ver Anexo C para mayor información).

#### 6.2.1.1 Cantidad de conexiones concurrentes al servidor web

Para determinar la cantidad de conexiones concurrentes al servidor, es necesario conocer la cantidad de memoria RAM instalada en el mismo, la cantidad de memoria RAM consumida por los procesos del sistema operativo y por último, la cantidad de memoria RAM consumida para cada conexión a Apache. (Da Silva, 2015)

El siguiente comando de Linux sirve para calcular una media del consumo de memoria RAM para cada conexión a Apache, para realizar esta prueba se recomienda tener varias pestañas abiertas, de ser posible, cada una de ellas mostrando distinto contenido, el resultado obtenido está en MB:

```
ps -ylC apache2 --sort:rss | awk '{SUM += $8; I += 1} END {print SUM/I/1024}'
```



```
solmaforo@solmaserver:~ $ ps -ylC apache2 --sort:rss | awk '{SUM += $8; I += 1} END {print SUM/I/1024}'
14.6019
solmaforo@solmaserver:~ $
```

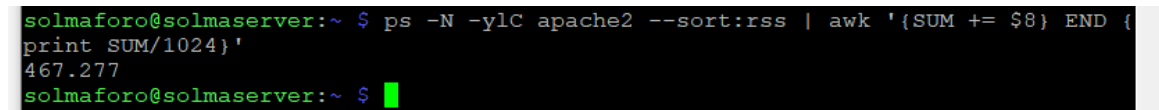
**Figura 65. Memoria RAM consumida por conexión a Apache 2.**

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 65, se observa que por cada conexión Apache consume 15MB aproximadamente de media por cada conexión.

Para determinar la cantidad de memoria RAM consumida por el resto de procesos que hay activos en el sistema se hace uso del siguiente comando:

```
ps -N -ylC apache2 --sort:rss | awk '{SUM += $8} END {print SUM/1024}'
```



```
solmaforo@solmaserver:~ $ ps -N -ylC apache2 --sort:rss | awk '{SUM += $8} END {print SUM/1024}'
467.277
solmaforo@solmaserver:~ $
```

**Figura 66. Cantidad de memoria RAM consumida por el resto de procesos del S.O.**

Fuente: Elaboración propia.

El resultado se observa en la Figura 66, se redondea a 468MB, el servidor tiene 1024MB de memoria RAM instalada (puesto que se está utilizando una Raspberry

Pi 2 Modelo B). Ahora se procede a calcular la cantidad máxima de conexiones concurrentes al servidor mediante la Ecuación 29:

$$\text{Conexiones concurrentes} = \frac{\text{RAM total} - \text{RAM resto de procesos}}{\text{RAM por conexión a Apache}} \quad (29)$$

$$\text{Conexiones concurrentes} = \frac{1024\text{MB} - 468\text{MB}}{15\text{MB}} = 37$$

Al resolver la operación, se obtiene que el servidor soporta hasta 37 conexiones de forma simultánea, sin embargo, se decidió dejar un margen de seguridad para la ejecución de procesos adicionales, por tanto, se establecen solamente 30 conexiones de forma concurrente al servidor web, dejando así 106MB libres de memoria RAM.

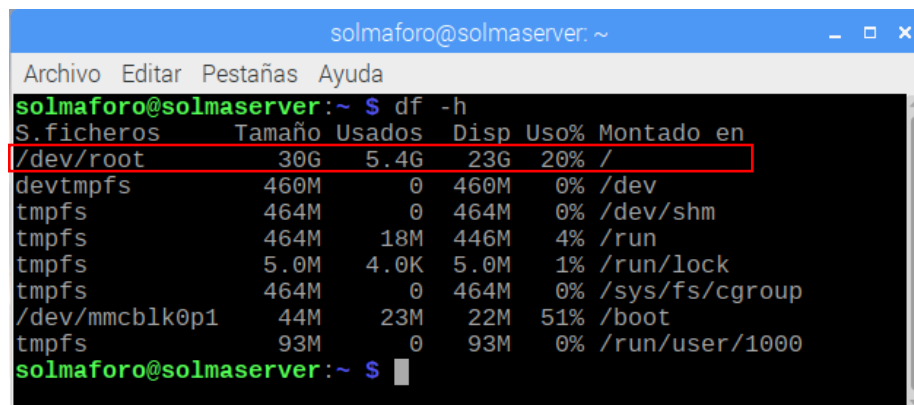
Luego, en el archivo de configuración de Apache2, se configuran los siguientes parámetros:

```
<IfModule mpm_prefork_module>
StartServers 5
MinSpareServers 5
MaxSpareServers 10
ServerLimit 37
MaxClients 30
MaxRequestsPerChild 0
</IfModule>
```

Con esta configuración se garantiza que la cantidad máxima de clientes será de 30 y que no se sobrepasará ese valor.

### 6.2.1.2 Capacidad de almacenamiento de la base de datos

La capacidad de almacenamiento de la base de datos, está condicionada por la cantidad de memoria disponible en el servidor, no existe un método definido para estimar el peso de la información contenida en una tabla de una base de datos; los autores revisaron la bibliografía referente al tema y se determinó que la tabla donde se almacenan las mediciones de los sensores tendría un peso de 8MB por día (24 horas), por lo que en un año, se estima que tendría un peso de aproximadamente 2.9GB (ver Anexo C para mayor información).



```
solmaforo@solmaserver: ~  
Archivo Editar Pestañas Ayuda  
solmaforo@solmaserver:~$ df -h  
S.ficheros      Tamaño Usados  Disp Uso% Montado en  
/dev/root       30G    5.4G   23G  20% /  
devtmpfs        460M    0    460M   0% /dev  
tmpfs           464M    0    464M   0% /dev/shm  
tmpfs           464M   18M   446M   4% /run  
tmpfs           5.0M   4.0K   5.0M   1% /run/lock  
tmpfs           464M    0    464M   0% /sys/fs/cgroup  
/dev/mmcblk0p1  44M    23M   22M  51% /boot  
tmpfs           93M    0    93M   0% /run/user/1000  
solmaforo@solmaserver:~$
```

Figura 67. Espacio disponible para almacenamiento en la Raspberry Pi.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 67 se observa que la Raspberry Pi después de toda la instalación y configuración de los paquetes de los servidores, tiene disponible 23GB para almacenamiento, por lo que tendría capacidad para almacenar información en la base de datos por espacio de casi 8 años. Si se quiere aumentar la capacidad de almacenamiento, bastaría con instalar el sistema operativo en una memoria de mayor capacidad (en este caso, se utilizó una memoria microSD de 32GB, clase 10).

### 6.3 Diseño de la estructura física del prototipo del Solmáforo

Para el diseño de la estructura física del prototipo del Solmáforo se utilizó el software SketchUp, la estructura tiene una base triangular, por lo que tiene tres lados. Debido a la limitación en los recursos económicos, se utilizó plywood y la estructura fue construida por los autores; en las esquinas y en la cara frontal se le aplicó pasta gypsum para que hubiese una superficie lo más uniforme posible. (En el Anexo D pueden verse las cotas para la construcción de la estructura).

**Figura 68. Caja plástica donde se introdujo la circuitería del proyecto.**

Fuente: Elaboración propia.

Una vez construida la estructura se procedió a forrarla con papel, luego se pegaron encima las carátulas previamente diseñadas por los autores, estas carátulas se imprimieron en papel bond y se pegaron en cada una de las caras de la estructura.

Toda la circuitería electrónica se introdujo dentro de una caja plástica la cual tiene su respectiva tapadera, esto con el propósito de proteger a los dispositivos de los agentes externos, se seleccionó una caja plástica porque es aislante y porque se calienta menos, a diferencia de las cajas metálicas.



**Figura 69. Etapas de la construcción de la estructura del proyecto.**  
Fuente: Elaboración propia.

#### **6.4 Costos de fabricación del prototipo**

El costo total de fabricación del prototipo de este proyecto es de \$1,426.01, esto no incluye ningún tipo de herramienta, instrumento de medición o mano de obra. En las tablas siguientes se describe el costo de cada uno de los materiales y componentes necesarios.

**Tabla 13:**

Costos de fabricación de la estructura del proyecto.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Total</b>
2	Alfajilla de madera 2x2x9	\$12.00
2	Pliego de Plywood 1/4	\$24.00
200	Tornillo Punta Fina Gypsum	\$3.00
1	Pasta para Gypsum	\$6.00
1	Traslado de Estructura	\$6.00
1	Masking Tape	\$0.75
4	Pegas de barra	\$1.50
10	Papelógrafos	\$1.30
1	Impresión full color carátulas	\$28.00
	<b>TOTAL</b>	<b>\$82.55</b>

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.**Tabla 14:**

Costos de los componentes y materiales para la construcción del dispositivo

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Total</b>
1	LCD I2C 20x4	\$ 28.48
1	AM2301	\$ 27.69
1	Arduino Nano	\$ 28.28
1	Pack 900 Led 5mm	\$ 57.87
5	MAX7219	\$ 25.69
10	74HC540	\$ 26.45
10	UDN2981A	\$ 32.44
10	ULN2803	\$ 22.56
1	LM7805	\$ 1.00
1	LM7812	\$ 1.00
1	TIP41	\$ 1.50
1	2N3904	\$ 0.50
1	Puente de diodos de 4A	\$ 2.00
1	Davis 6490	\$ 553.81
5	IRF1404	\$ 2.42
1	1N5227B	\$ 0.75
2	Módulo DS3231	\$ 2.50
1	1N4007	\$ 0.50
8	Display NFD-23011BS-11	\$ 23.62
1	Transformador 12VAC 2A	\$ 16.63
3	Resistor 10kΩ 1/4W	\$ 0.45
7	Resistor 150Ω 1/2W	\$ 1.06
1	Resistor de 47kΩ 1/4W	\$ 0.15
1	Resistor de 1.2kΩ 1/4W	\$ 0.15



1	Resistor de 150Ω 1/4W	\$	0.15
26	Resistor de 120Ω 1/4W	\$	3.94
41	Resistor de 270Ω 1/4W	\$	6.21
3	Resistor de 390Ω 1/4W	\$	0.45
5	Resistor de 330Ω 1/4W	\$	0.76
1	Capacitor electrolítico 470μF 16V	\$	1.00
2	Capacitor electrolítico 10μF 16V	\$	1.00
1	Capacitor electrolítico 2200μF 25V	\$	1.80
1	Capacitor electrolítico 100μF 16V	\$	1.00
3	Capacitor cerámico 0.1μF	\$	1.00
2	Capacitor cerámico 0.33μF	\$	1.00
1	Resma de papel fotográfico	\$	9.00
1	Litro de ácido Muriático	\$	2.42
1	Litro de Peróxido de Hidrógeno	\$	2.42
100	Jumper Conexión Cable Hembra	\$	22.16
100	Jumper Conexión Cable Macho	\$	22.16
500	Jumper Carcasa Hembra	\$	22.16
20	Tarjeta PCB 10x15cm FR4	\$	66.27
1	Pack Termo Contráctil	\$	3.60
5	Terminales hembra de 16 pines	\$	22.16
20	Terminal de bloque de dos pines	\$	13.00
2	Juego de brocas para PCB	\$	32.52
50	Conector Molex 2 pines	\$	23.38
100	Pin terminal hembra para Jumper	\$	22.16
100	Pin terminal macho para Jumper	\$	22.16
200	Carcasa para terminal Jumper	\$	22.16
20	Peineta de 40 pines con ángulo recto	\$	22.16
1	Raspberry Pi 2 Modelo B	\$	90.55
1	Router 2.4G 300Mbps	\$	47.20
<b>TOTAL</b>		<b>\$</b>	<b>1,343.46</b>

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

## 7 ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Tomando en cuenta los objetivos planteados, se construyó el primer prototipo de un Solmáforo en Nicaragua completamente funcional.

Además de presentar el índice de radiación ultravioleta (UVI) por medio de los focos LED, según el código de colores establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), el prototipo construido muestra la hora, la temperatura y la humedad relativa por medio de unas pantallas.

El Solmáforo construido cuenta con un punto de acceso Wi-Fi, al cual los usuarios pueden conectarse para acceder a una página web, donde pueden ver las mediciones de los sensores en tiempo real, tienen acceso a una tabla donde se muestra el historial de las mediciones de los sensores, además, la página web tiene información general sobre la radiación ultravioleta.

La página web y la presentación de la hora, la temperatura y la humedad relativa son una innovación en el diseño, puesto que los Solmáforos construidos en otros países no cuentan con estas funciones.



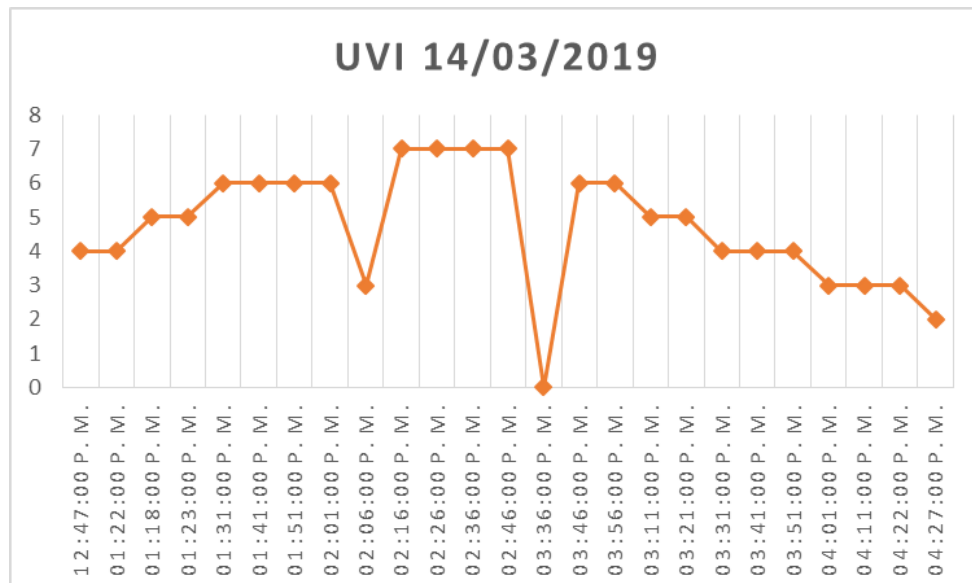
**Figura 70. Publicación de la entrevista realizada a los autores por la División de Comunicación UNI**  
Recuperado de: <https://uni.edu.ni/Articulo/Ver/Un-SOLMAFORO-hecho-en-la-UNI>

**Figura 71. Presentación del prototipo en la feria del día internacional del Arduino.**  
Fuente: Elaboración propia.

El prototipo de Solmáforo construido ha tenido buena aceptación en la comunidad universitaria, hasta el punto de que la División de Comunicación de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) realizó una entrevista a los autores. Entrevista que fue publicada de forma escrita en la página oficial de la universidad y en forma audiovisual en el canal de YouTube de la revista UNI-TV; además, la Nueva Radio Ya, publicó en su página web un artículo sobre el Solmáforo que los autores construyeron. Puede acceder a estas publicaciones desde los siguientes enlaces:

- <https://uni.edu.ni/Articulo/Ver/Un-SOLMAFORO-hecho-en-la-UNI>
- <https://nuevaya.com.ni/estudiantes-de-la-uni-crean-un-solmaforo/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=W-MmlpHzp6E&t=1265s>

Por último, el prototipo de Solmáforo construido, se presentó en la feria del día internacional del Arduino que se celebró en la UNI, donde tuvo gran aceptación por parte de docentes, jurado calificador, estudiantes y visitantes en general, además en dicha feria, el Br. Jorge Vallejos, brindó una conferencia sobre la construcción del mismo. En la Figura 72, se observa un gráfico con la medición durante algunas horas, del índice de radiación ultravioleta en el lado norte del auditorio Salomón de la Selva de la UNI.



**Figura 72. Medición del índice de radiación UV.**

Fuente: Elaboración propia.

## **8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **8.1 Conclusiones**

Se realizó el diseño y la construcción de un prototipo de un Solmáforo, permitiendo la medición de las variables meteorológicas: Temperatura, humedad relativa e índice de radiación UV. Se logró mostrar el índice de radiación UV a través de un código de colores establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la hora, temperatura y humedad relativa se presentan por medio de pantallas de 7 segmentos.

Se diseñó y construyó una estructura liviana, sólida y económica.

Se verificó el funcionamiento correcto de los circuitos del Solmáforo al realizar pruebas en un software de simulación y en tabla de nodos, se corrigieron errores para posteriormente implementar la circuitería.

La PCB del circuito de control de las pantallas de 7 segmentos se diseñó de tal forma que el ruido eléctrico no la afectara, además, se verificó el funcionamiento de todos los circuitos mediante diversas pruebas durante largos periodos de tiempo.

Se diseñó una página web, desde la cual, se puede observar la medición en tiempo real de cada uno de los sensores, además, cuenta con una tabla donde se puede visualizar un historial de los datos proporcionados por los mismos, datos que pueden ser descargados en una hoja de cálculo de Excel o en formato PDF. Así mismo, esta página contiene información referente a la radiación UV, la historia del Solmáforo y una pequeña galería de fotos. El servidor web y de base de datos se implementó en una tarjeta Raspberry Pi 2, Modelo B, se puede acceder a toda esta información desde una red local, mediante un punto de acceso WiFi instalado en la estructura del Solmáforo.

## **8.2 Recomendaciones**

Proteger el sensor AM2301 de los rayos UV para que pueda instalarse en la intemperie.

Construir la estructura del Solmáforo de tal forma que pueda soportar las condiciones ambientales externas.

Imprimir las carátulas del Solmáforo en un material apropiado, resistente al agua y a la radiación UV para que pueda instalarse en la intemperie.

Añadir aletas (sombreros) a las pantallas de 7 segmentos y a los focos LED, con el propósito de generar sombra, para que la información mostrada pueda entenderse con facilidad, aún con el sol en su máximo esplendor.

Implementar un sistema de alimentación solar, para que el sistema pueda funcionar de manera autónoma.

Realizar modificaciones a la página web, para presentar un historial de mediciones de forma gráfica, añadir un sistema de registro para poder acceder al historial de mediciones y por ende a la descarga de la información contenida en la base de datos, además, publicar el sitio web en internet para tener acceso desde cualquier lugar.

Automatizar el proceso de backups (respaldo) de la información contenida en la base de datos para prevenir cualquier pérdida de información.

Mejorar el script elaborado en Python para la comunicación serial entre la Raspberry Pi y el microcontrolador, utilizando demonios (daemon) para evitar el uso de un ciclo infinito.

Aplicar técnicas de seguridad informática a los servidores implementados en la Raspberry Pi.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

- Alquinga, F. (2017). *Desarrollo e implementación de un dispositivo "wearable" para el análisis de temperatura, humedad, incidencia de rayos ultravioleta (UV) y presión atmosférica para personas que realizan montañismo*. (Trabajo de grado). Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador. Obtenido de <http://bit.ly/2h5SzXi>
- American Cancer Society (ACS). (1 de Febrero de 2016). *¿Qué es el cáncer de piel tipo melanoma?* Obtenido de <http://bit.ly/2yLD8eH>
- American Cancer Society (ACS). (17 de Mayo de 2016). *¿Qué son los cánceres de piel de células basales y de células escamosas?* Obtenido de <http://bit.ly/2iyWO1i>
- American Cancer Society (ACS). (19 de Abril de 2017). *¿Qué es el cáncer de piel?* Obtenido de <http://bit.ly/2wmbQsG>
- Aviña, A. (14 de Mayo de 2019). *aztecasonora*. Obtenido de <http://aztecasonora.com/2018/10/ya-esta-instalado-primero-solmaforo/>
- Axaopoulos, P. (s.f.). *El Sol y su radiación*. Obtenido de <http://bit.ly/2x0aWnt>
- Ballesteros, H. B. (2010). *Información técnica sobre la radiación ultravioleta, el índice UV y su pronóstico*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia. Obtenido de <http://bit.ly/2ENISYo>
- Barco, D. (25 de Febrero de 2013). *Sol y vitamina D*. Obtenido de <http://bit.ly/293bRcr>
- Blasco, Y. (11 de Abril de 2013). *Cálculo instalación fotovoltaica aislada de la red (off-grid) parte 3 (campo fotovoltaico: radiación solar. calculo horas sol pico)*. Obtenido de Calculation Solar: <http://bit.ly/2gChaCC>
- Boscá, M. (1 de Agosto de 2014). *FÍSICA CUÁNTICA EN LA RED*. Obtenido de <http://www.fisicacuantica.es/la-dualidad-onda-corpusculo/>
- Boscá, M. (30 de Noviembre de 2016). *El fotón y su necesidad*. Obtenido de Física cuántica en la red: <http://bit.ly/2y6GneC>
- Boylestad, R., & Nashelsky, L. (2009). *Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos* (10 ed.). PEARSON EDUCACIÓN.
- Brown, M. (2001). *Power Supply Cookbook*. Butterworth–Heinemann.

- Calle, A., Pérez, A., Casanova, A., & Romo, A. (1999). *Análisis de la irradiancia eritemática: Datos experimentales y relación con el contenido total de ozono*. Obtenido de <http://bit.ly/2yL4YcB>
- Camilloni, I., & Vera, C. (s.f.). *La atmósfera*. Obtenido de Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología (Argentina): <http://bit.ly/2gFz62G>
- Cherry, R. (s.f.). *Radiaciones ionizantes*. Obtenido de Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo: <http://bit.ly/1p5CimD>
- Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA). (s.f.). *Radiación ultravioleta e índices UV*. Obtenido de <http://bit.ly/2yBjvWL>
- Corporación Nacional del Cáncer (CONAC). (14 de Mayo de 2019). *En Maicolpué habilitan el primer solmáforo para medir rayos UV*. Obtenido de <http://conac.icc-crisis.com/?p=2244>
- Da Silva, I. (21 de Julio de 2015). *DESDELINUX*. Obtenido de <https://blog.desdelinux.net/como-aumentar-conexiones-simultaneas-apache/>
- Da Souza, T., Salazar, G., Marín Fernandez, M., Utrillas, P., Martínez Lozano, J., Fernández, C., & Suligoy, H. (2013). *Análisis de los efectos de valores extremos de irradiancia UV eritemática en la ciudad de Salta*. Obtenido de <http://bit.ly/2gFECm5>
- DataTables. (26 de Abril de 2019). Obtenido de <https://datatables.net/>
- Díaz, J. (s.f.). *UNIVERSO Blog*. Obtenido de <https://josevicentediaz.com/teledeteccion/radiacion-solar-en-la-superficie-de-la-tierra/>
- Dorado, J. (2012). *El solmáforo: prevención para todos*. Obtenido de Tercerplaneta: <http://bit.ly/2yOoipW>
- Goldstein, A., Lazaris, L., & Weyl, E. (2015). *HTML5 & CSS3 for the Real World*. Australia: SitePoint.
- González, G., & Rabin, C. (2011). *Para entender las Radiaciones*. (U. d. Uruguay, Ed.) Obtenido de <http://bit.ly/1IE7JKR>
- Guillén, H. (2012). *¡Luz roja al solmáforo!* Obtenido de <http://bit.ly/2z3XfaZ>
- Hernández, P. (8 de Marzo de 2014). *Radiación directa, difusa y reflejada*. Obtenido de <http://bit.ly/2zESlbb>
- Higdon, J. (2016). *Vitamina D*. Obtenido de Linus Pauling Institute | Oregon State University: <http://bit.ly/2lfXPMP>



- Hinckley, A. (14 de Junio de 2017). *Pyranometers: What You Need to Know*. Obtenido de Campbell Scientific : <http://bit.ly/2zPbWMb>
- Infobae. (14 de Mayo de 2019). *Cómo funciona el innovador semáforo porteño que mide la radiación solar*. Obtenido de <https://www.infobae.com/salud/ciencia/2017/12/11/como-functiona-el-innovador-semaforo-porteno-que-mide-la-radiacion-solar/>
- Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. (s.f.). *¿Cómo se obtiene el IUV y el tiempo de exposición?* Obtenido de <http://bit.ly/2gFWyNF>
- Knave, B. (s.f.). *Radiaciones no ionizantes*. Obtenido de Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo: <http://bit.ly/2y1Nyd4>
- Lema, C., & Zuleta, D. (2015). *Solmáforo (Semáforo Solar): Modelo ambiental de alerta por exposición a la radiación solar en Quito*. (Trabajo de grado). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. Obtenido de <http://bit.ly/2i0rKn2>
- López de la Fuente, J. (2002). Radiación ultravioleta-B en Managua 2000-2001. *Cuadernos de Investigación de la UCA*. Obtenido de <http://bit.ly/2y1qjzJ>
- Lucas, R., McMichael, T., Smith, W., & Armstrong, B. (2006). *Solar Ultraviolet Radiation*. Geneva: World Health Organization (WHO). Obtenido de <http://bit.ly/2zKeefD>
- MacIntyre, P. (2010). *PHP: The Good Parts*. O'Reilly Media, Inc.
- Malvino, A., & Bates, D. (2007). *Principios de Electrónica* (7 ed.). España: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A. U.
- Marín, M. J. (2007). *Estudio de la irradiancia solar ultravioleta B y eritemática en la comunidad valenciana*. (Tesis doctoral). Universidad de Valencia, Valencia, España. Obtenido de <http://bit.ly/2yMpV7u>
- Ministerio de Salud de Chile (MINSAL). (2011). *Guía Técnica Radiación Ultravioleta de Origen Solar*. Obtenido de <https://bit.ly/2VZW8RB>
- Morazzani, F. J. (s.f.). *Medidor de Índice UV basado en la Plataforma Arduino*. Obtenido de <http://bit.ly/2lcDR5C>
- Nixon, R. (2018). *Learning PHP, MySQL & JavaScript: With jQuery, CSS & HTML5*. Gravenstein Highway North, Sebastopol: O'Reilly Media, Inc.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (s.f.). *Non-Ionizing Radiation*. Obtenido de <http://bit.ly/2yNDzqA>



- Ocean Optics. (s.f.). *What is the response of the cosine corrector?* Obtenido de <http://bit.ly/2f7KslD>
- Olmo, M. (s.f.). *Primeros Datos del Efecto Fotoeléctrico*. Obtenido de HyperPhysics: <http://bit.ly/2ix0Ozh>
- Ordóñez, J. L. (s.f.). *Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico*. Obtenido de Autores Científico-Técnicos y Académicos: <http://bit.ly/2gFPUa6>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (s.f.). *¿Qué son los campos electromagnéticos?* Obtenido de Campos electromagnéticos (CEM): <http://bit.ly/2rRPey6>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2003). *Cambio climático y salud humana: riesgos y respuestas: Resumen*. Obtenido de <http://bit.ly/2zAG6lq>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2003). *Climate change and human health: risks and responses*. Obtenido de <http://bit.ly/2n69No7>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2003). *Índice UV solar mundial : guía práctica*. Obtenido de <https://goo.gl/sDsiwq>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (Abril de 2016). *Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección*. Obtenido de <http://bit.ly/1lxMqgQ>
- Palacios, L., & Mallo, S. (2011). *¿Cómo prevenir los efectos nocivos del Sol?* Obtenido de <http://bit.ly/2yH1RDu>
- Paredes, P. (2017). *Diseño de un sistema de señalización utilizando sensores fotovoltaicos para la prevención de los efectos de la radiación solar para los estudiantes de la EPIE*. (Trabajo de grado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Obtenido de <http://bit.ly/2yKkQKN>
- Pérez, D. (s.f.). *Medida de la radiación solar*. Obtenido de Procedimiento de mantenimiento y calibración de estación radiométrica: <http://bit.ly/2y3KvMo>
- Pérez, J. A. (2009). *Apuntes sobre el cambio climático en Nicaragua*. Managua. Obtenido de <http://bit.ly/2gNgVU6>
- phpmyadmin. (26 de Abril de 2019). *Bringing MySQL to the web*. Obtenido de <https://www.phpmyadmin.net/>
- Razzoli, F. (2014). *Mastering MariaDB: Debug, secure, and back up your data for optimum*. Publishing Ltd.

ROHM SEMICONDUCTOR. (14 de Mayo de 2019). *Thermal Design for Three-Terminal Voltage Regulators*. Obtenido de [http://rohmfs.rohm.com/en/products/databook/applinote/ic/power/linear\\_regulator/three\\_terminal\\_heatsink\\_appli-e.pdf](http://rohmfs.rohm.com/en/products/databook/applinote/ic/power/linear_regulator/three_terminal_heatsink_appli-e.pdf)

Somos Optometristas. (3 de Julio de 2014). *Efectos y lesiones oculares por la radiación solar*. Obtenido de <http://bit.ly/1cFrea1>

STMicroelectronics. (1 de Mayo de 2019). *UNDERSTANDING AND MINIMISING ADC CONVERSION*. Obtenido de [https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application\\_note/9d/56/66/74/4e/97/48/93/CD00004444.pdf/files/CD00004444.pdf/jcr:content/translations/en.CD00004444.pdf](https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/9d/56/66/74/4e/97/48/93/CD00004444.pdf/files/CD00004444.pdf/jcr:content/translations/en.CD00004444.pdf)

UN, Agencia de noticias. (Febrero de 2017). *Solmáforo alerta sobre rayos UV y da recomendaciones*. Obtenido de <http://bit.ly/2h5SXFB>

Universia Colombia. (14 de Mayo de 2019). Obtenido de <https://noticias.universia.net.co/entrada/portada/noticia/2012/06/29/947270/instalan-bogota-primer-solmaforo.html>

Universidad Católica. (14 de Mayo de 2019). *Crearon un «Solmáforo» para generar conciencia sobre efectos de la radiación solar*. Obtenido de <https://www.universidadcatolica.edu.py/crearon-un-solmaforo-para-generar-conciencia-sobre-efectos-de-la-radiacion-solar/>

uniwebsidad. (26 de Abril de 2019). *Bootstrap 3, el manual oficial*. Obtenido de <https://uniwebsidad.com/libros/bootstrap-3>

Vallejo Delgado, L. (2003). *Índice Ultravioleta*. Universidad de Antofagasta, Antofagasta. Obtenido de <http://bit.ly/2mFzq0C>

w3schools.com. (26 de Abril de 2019). Obtenido de [https://www.w3schools.com/bootstrap/bootstrap\\_get\\_started.asp](https://www.w3schools.com/bootstrap/bootstrap_get_started.asp)

Welling, L., & Thomson, L. (2009). *PHP and MySQL Web development*. Pearson Education, Inc.

Wilson, R., & Zapata, X. (2002). *Cáncer de piel: Comportamiento y manejo en Managua, León y Chinandega, de Enero de 1996 a Junio de 2001*. (Trabajo de grado). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua. Obtenido de <http://bit.ly/2y1y8Wd>

Young, H., & Freedman, R. (2009). *Física universitaria, con física moderna* (12 ed., Vol. 2). México: Pearson Education.

# ANEXOS

## ANEXO A DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL SOLMÁFORO

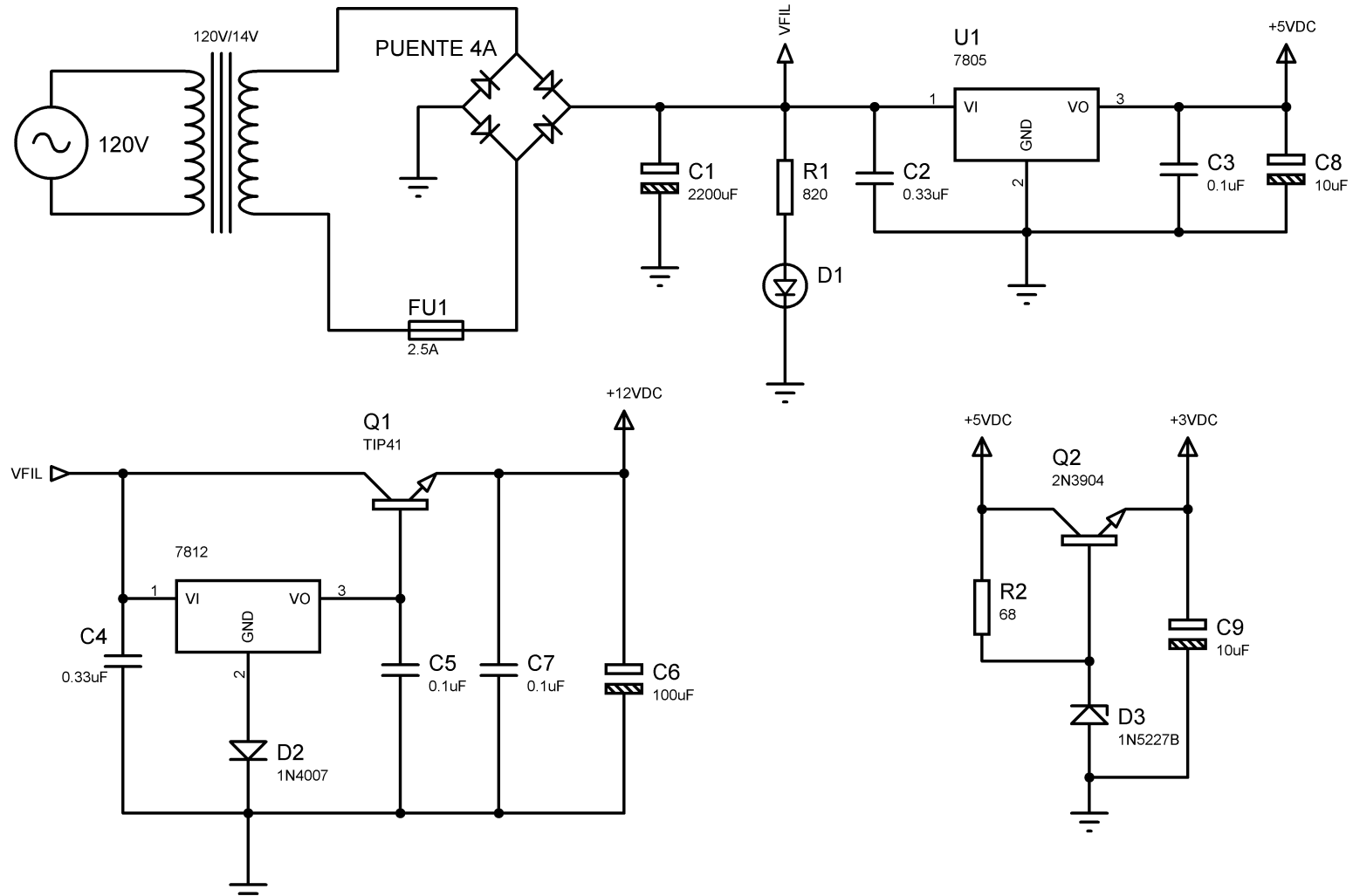


Figura Anexos 9-1: Fuente de alimentación DC.

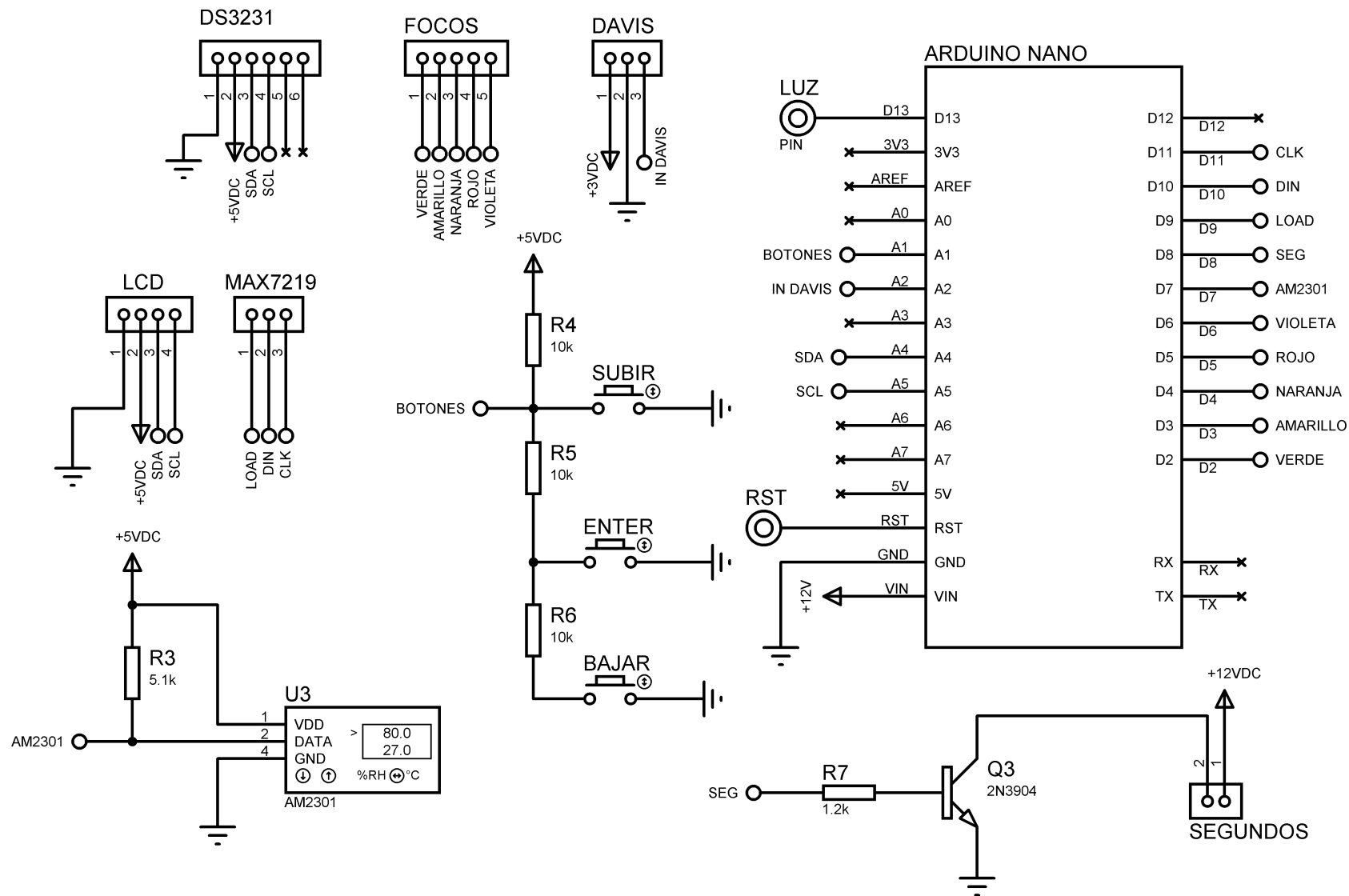


Figura Anexos A-2: Circuito de control general

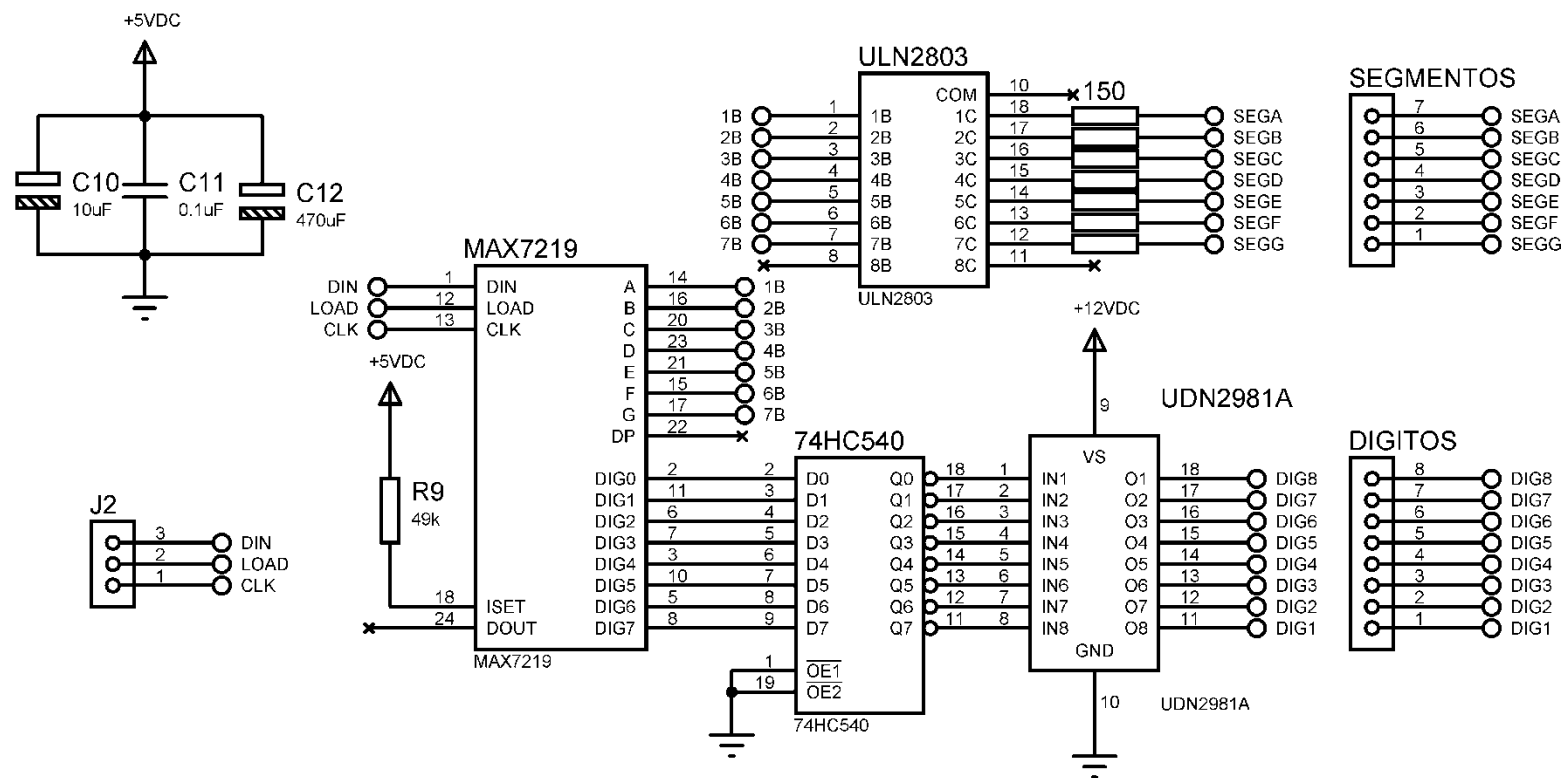


Figura Anexos A-3: Controlador de pantallas de 7 segmentos de ánodo común

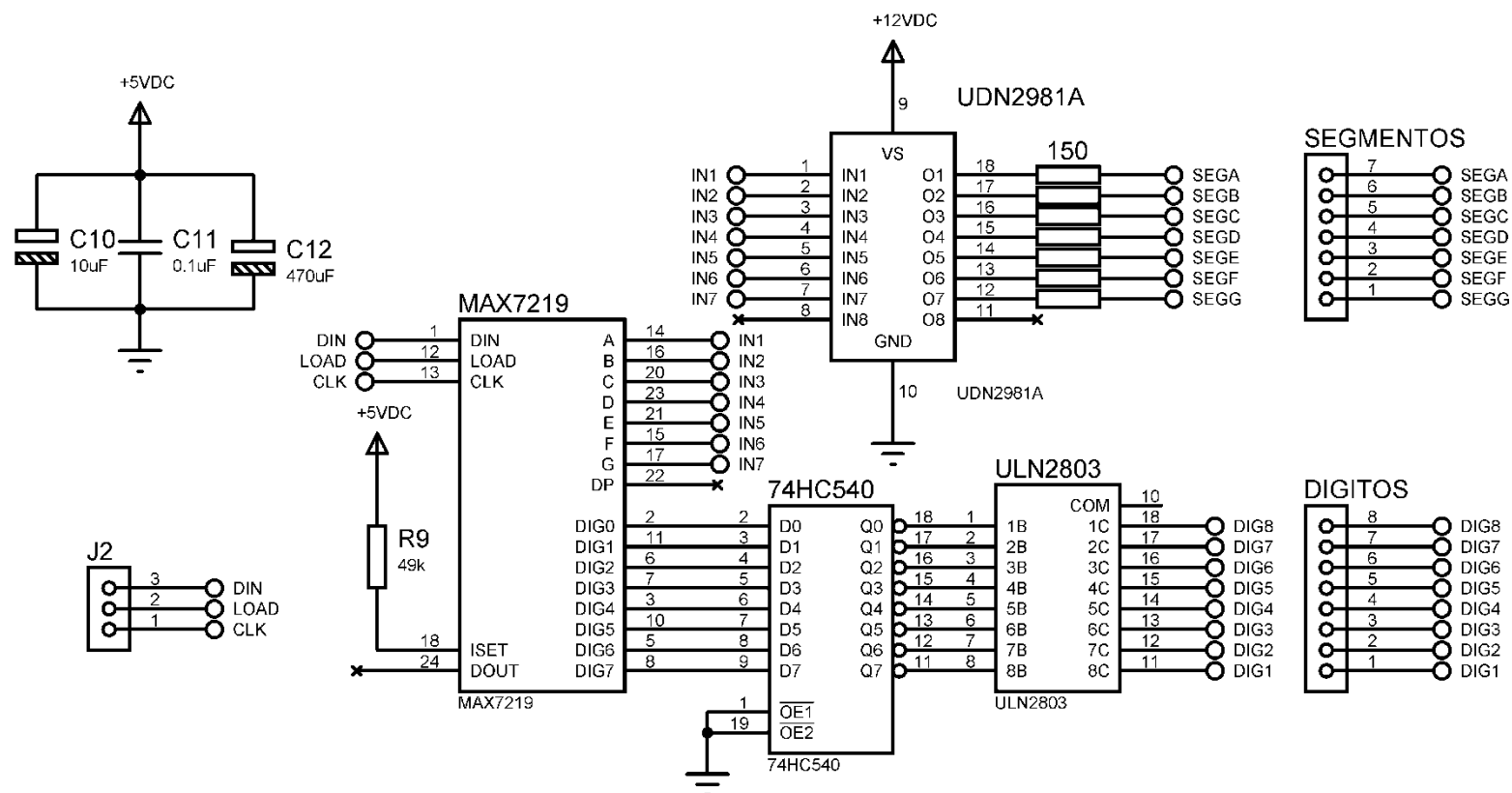


Figura Anexos A-4: Controlador de pantallas de 7 segmentos de cátodo común

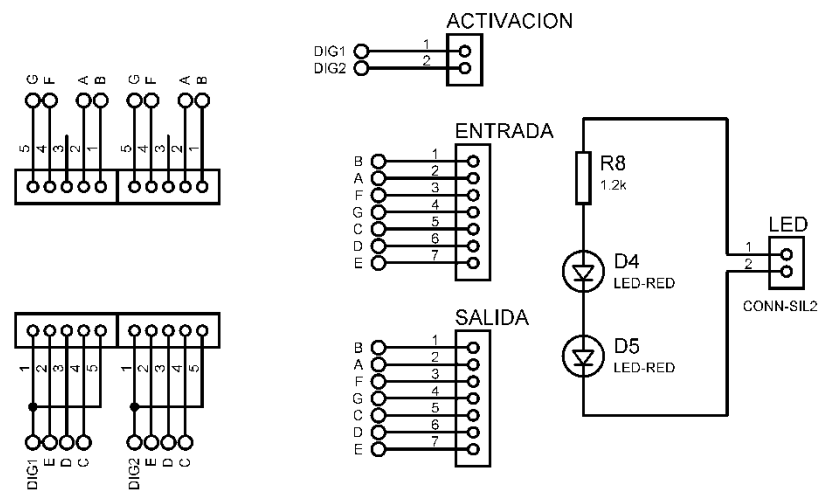


Figura Anexos A-5: Diagrama esquemático pantalla de 7 segmentos.

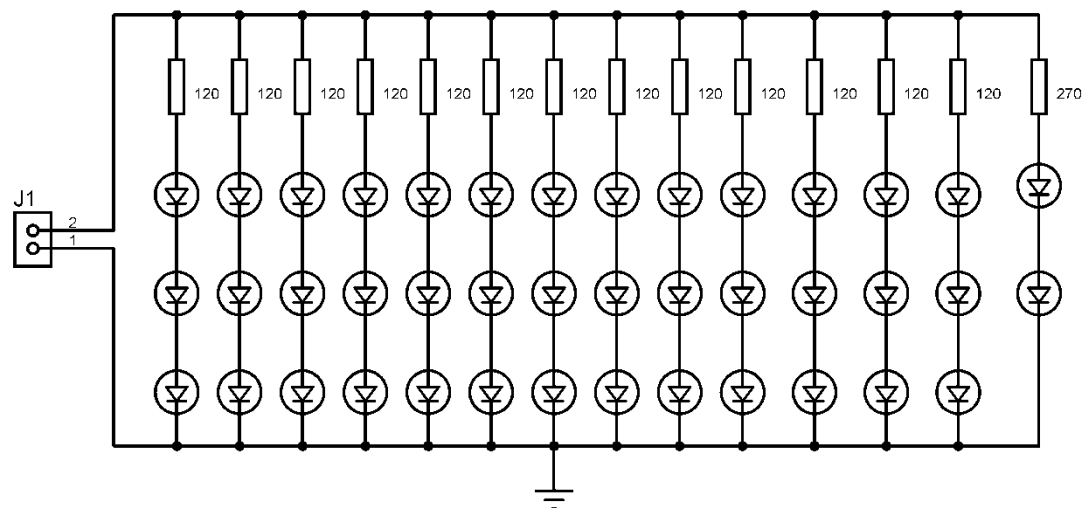
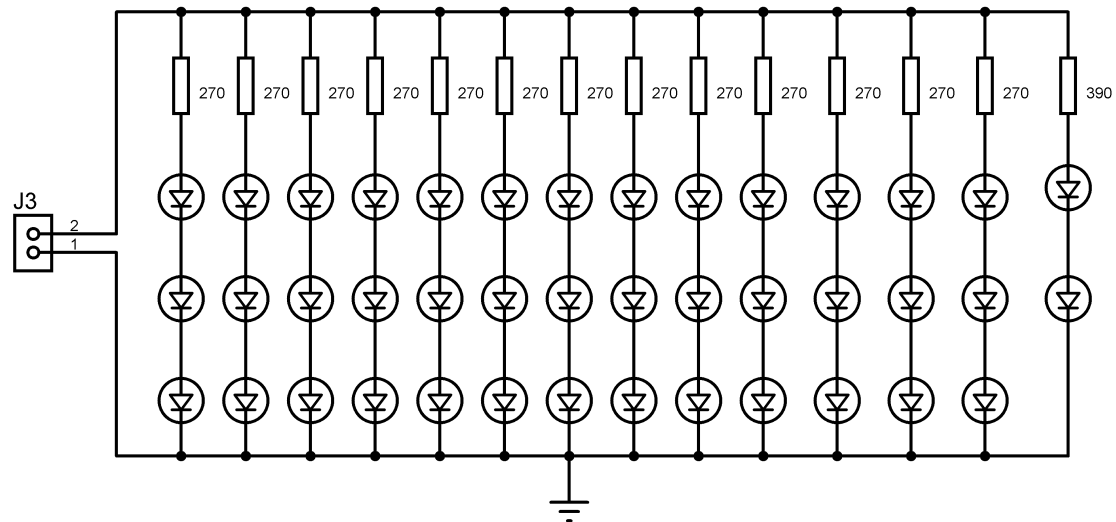
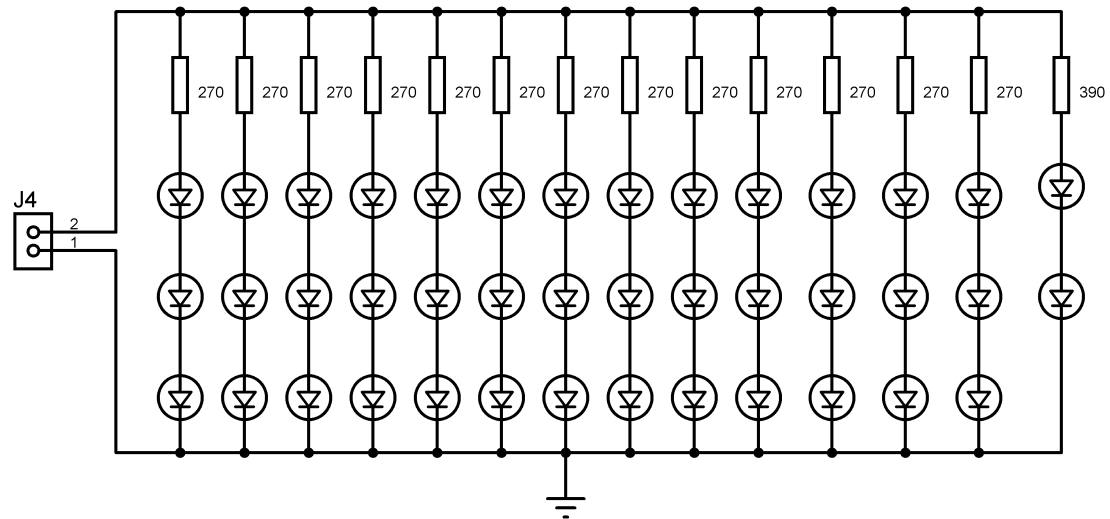


Figura Anexos A-6: Circuito lámpara LED verde.

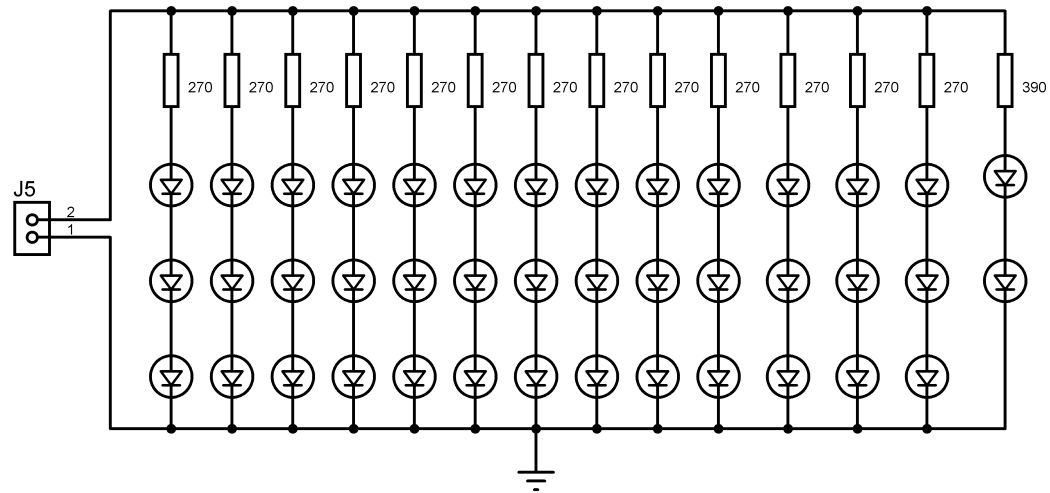




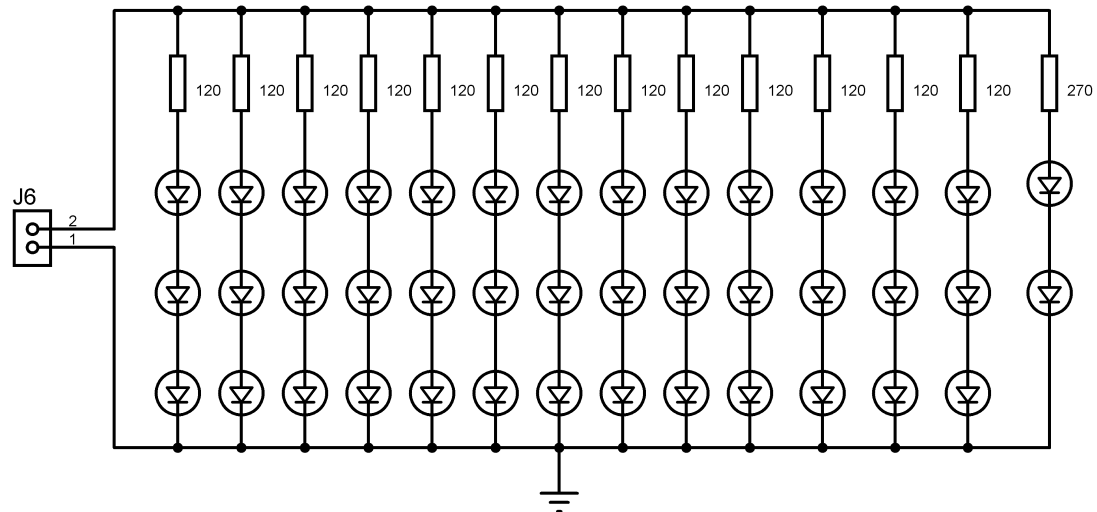
**Figura Anexos A-7: Circuito lámpara LED amarilla.**



**Figura Anexos A-8: Circuito lámpara LED naranja.**



**Figura Anexos A-9: Circuito lámpara LED roja.**



**Figura Anexos A-10: Circuito lámpara LED violeta.**

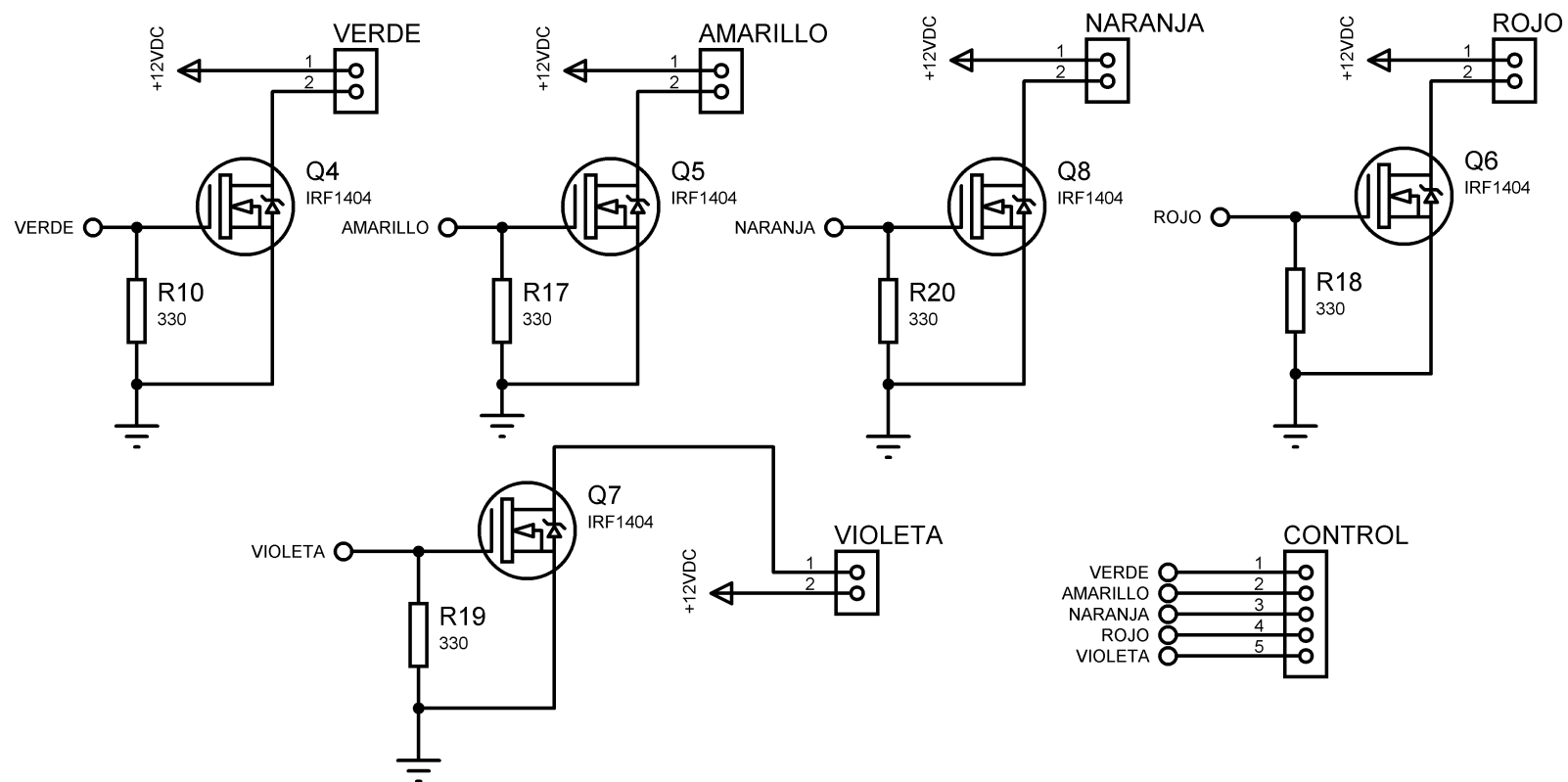


Figura Anexos A-11: Controlador de lámparas LED.

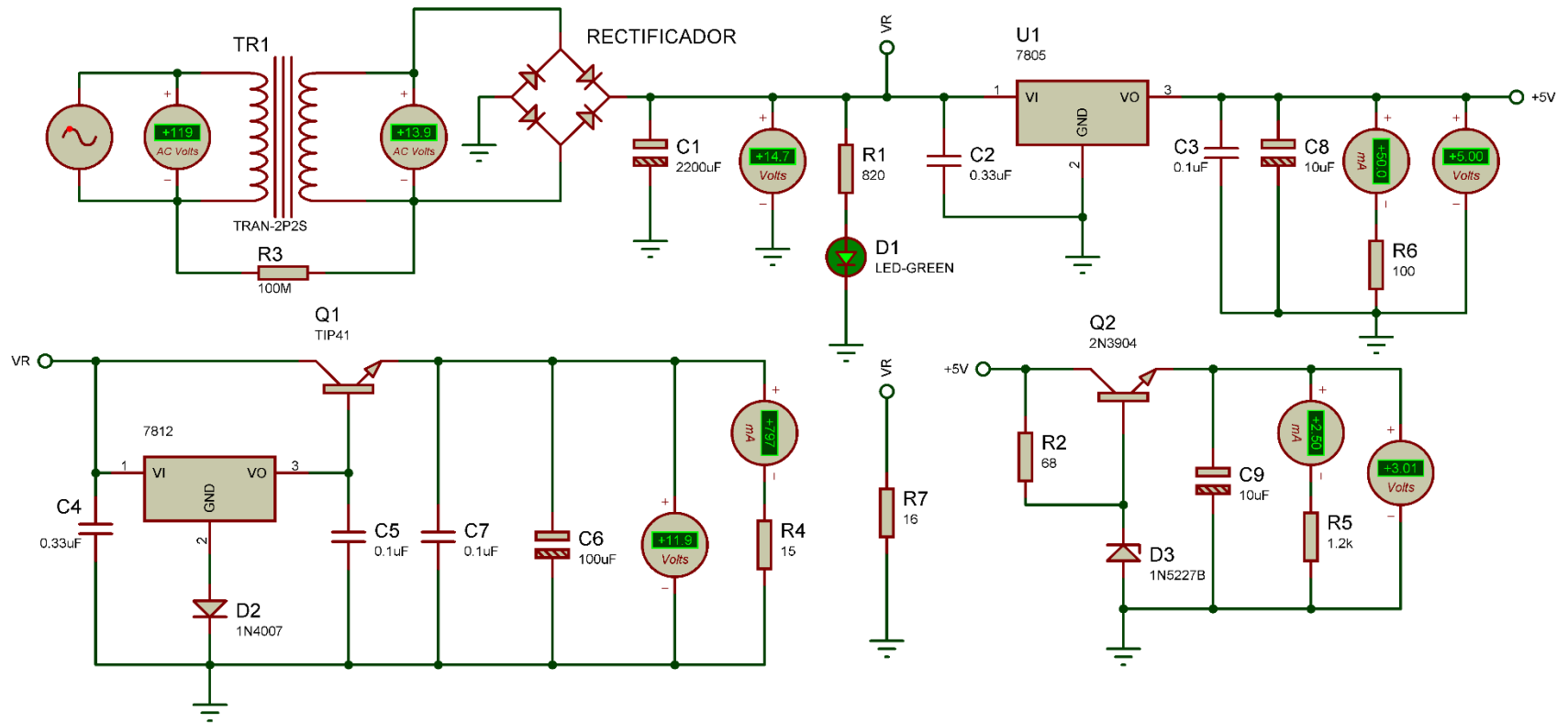


Figura Anexos A-12: Simulación de la fuente de alimentación.

## ANEXO B FABRICACIÓN DE LAS PCB

Las PCB se fabricaron de manera artesanal por el método de transferencia de calor (método de la plancha). Se utilizó papel fotográfico de tipo Glossy, sobre el cual se imprimió el diseño de las pistas con una impresora láser a alta resolución.

Para el atacado químico, se utilizaron dos partes de Ácido Muriático, dos partes de Peróxido de Hidrógeno y cuatro partes de Agua, esta solución es altamente corrosiva y los gases emanados son peligrosos, por lo que es necesario utilizar el equipo de protección personal correspondiente. Luego de este proceso, las placas se lavaron con abundante agua, para posteriormente eliminar la tinta con thinner. Posteriormente, se lijaron las pistas con una lija de agua de grano fino para proceder al estañado de las pistas, con el objetivo de proteger el cobre de la corrosión. Una vez finalizado este proceso, se procedió a la perforación de los agujeros. A continuación se muestran algunas fotografías del proceso de fabricación de las tarjetas.



**Figura Anexos B-1: Planchado de la tarjeta.**



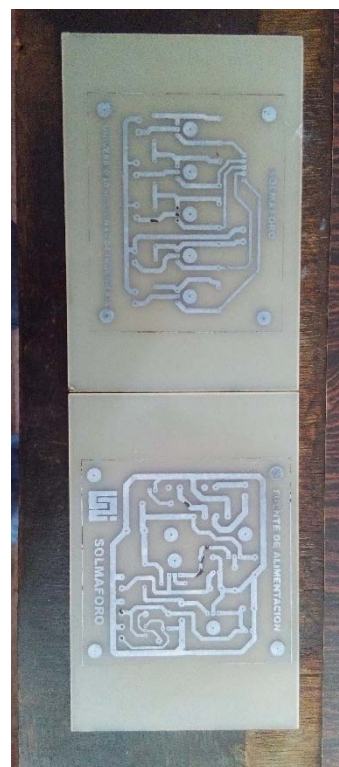
**Figura Anexos B-2: Preparación de la solución química.**



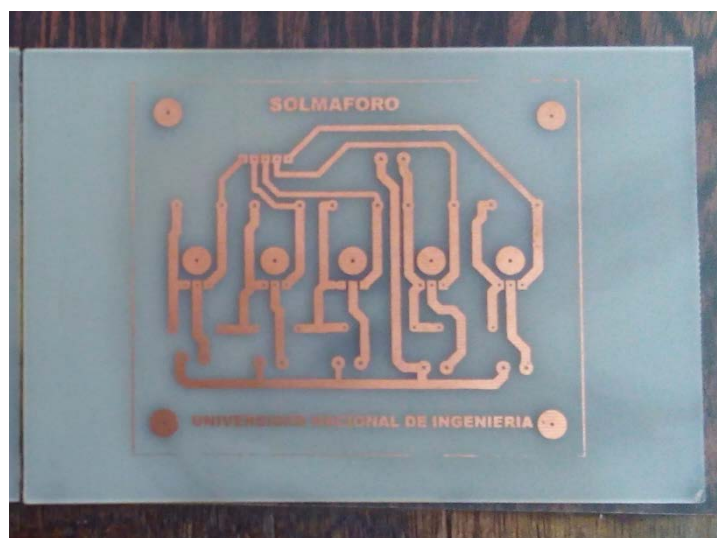
**Figura Anexos B-4: Momento antes de iniciar el ataque químico.**



**Figura Anexos B-5: Reacción de la solución con el cobre.**



**Figura Anexos B-3: Resultado después del ataque químico.**



**Figura Anexos B-6: Pistas después de remover la tinta.**





**Figura Anexos B-7: Perforación de los orificios de las tarjetas.**

**Figura Anexos B-8: Estañado de las pistas.**

**Figura Anexos B-9: Colocación de componentes.**

**Figura Anexos B-10: Soldadura de componentes.**



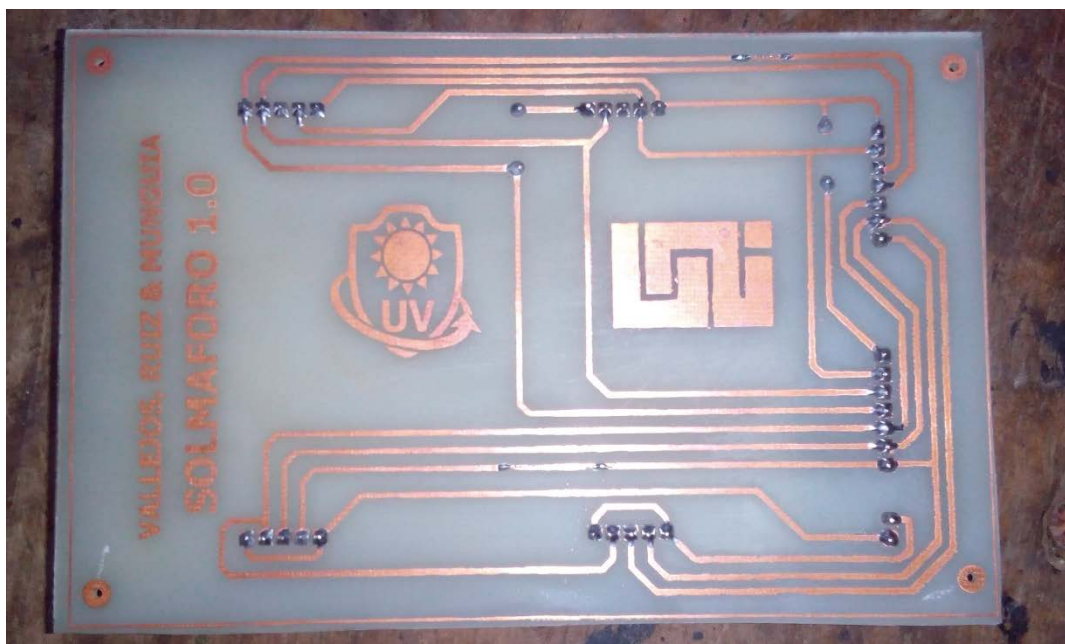


Figura Anexos B-11: Vista inferior de una tarjeta terminada.



Figura Anexos B-12: Vista superior de una tarjeta terminada.

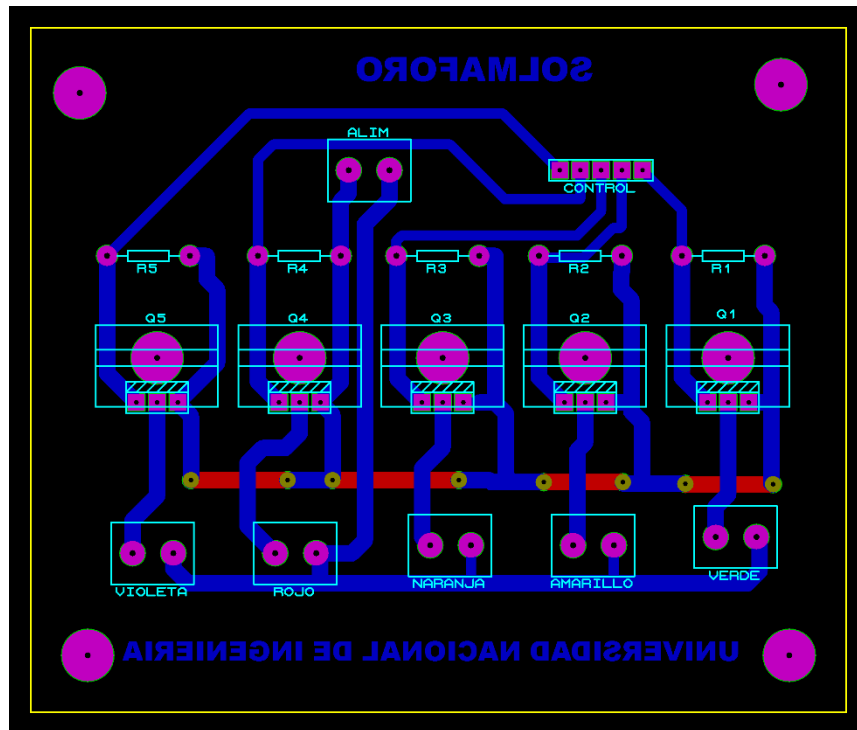


Figura Anexos B-13: Layout de las pistas diseñadas en Proteus.

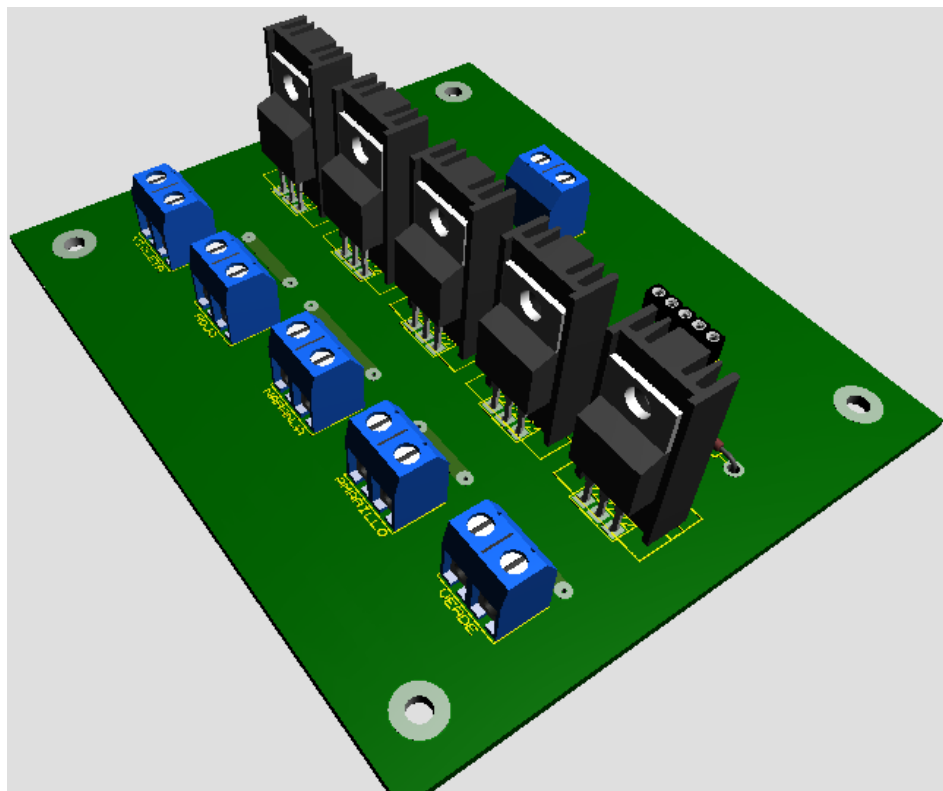


Figura Anexos B-14: Vista 3D de la PCB generada con Proteus.

## ANEXO C    INSTALACIÓN DEL SERVIDOR WEB

### Script de Python para la comunicación serie entre el microcontrolador y la Raspberry Pi.

Este script desarrollado busca el puerto al que está conectado el microcontrolador, establece una conexión de prueba, si fue exitosa se establece la conexión definitiva, sino sigue buscando el puerto hasta encontrarlo. Además de gestionar la comunicación entre ambos dispositivos, este script escribe los datos enviados por el microcontrolador en una base de datos.

```
#!/usr/bin/env python

import serial
import os
import sys
import time
import MySQLdb as mdb
from scheduler import Scheduler

def buscando_puerto():

    puerto_encontrado = False
    while not puerto_encontrado:

        for iPuerto in range(0,10):
            try:
                PUERTO = '/dev/ttyUSB' + str(iPuerto)
                VELOCIDAD = '115200'
                Arduino = serial.Serial(PUERTO, VELOCIDAD, dsrdtr=
True)

                Arduino.close()
                puerto_encontrado = True
                break
            except:
                pass
                time.sleep(1)
                print("Buscando puerto")

    if puerto_encontrado == True:
```

```

        print('Arduino conectado al puerto: ' + PUERTO)
        print('\n')
    return PUERTO

def restart_program():
    python = sys.executable
    os.execl(python, python, *sys.argv)

def mediciones_RT():

    try:

        datos = arduino.readline()
        datos = arduino.readline()
        arduino.write('A')
        datos = arduino.readline()
        datos_separados = datos.split("\t")
        temperatura1 = datos_separados[0]
        humedad1 = datos_separados[1]
        uvi= datos_separados[2]

        print('Temperatura RT = ' + temperatura1)
        print('Humedad RT = ' + humedad1)
        print('UVI = ' + uvi)
        print('\n')

    except:
        print("Error de lectura de datos, verifique la conexion
Serial")
        restart_program()

    try:
        conn = mdb.connect('localhost', 'solmaserver',
'@solmaforoUNI#', 'solmaforo')
    except:
        print("Error de conexion a la base de datos")

    try:
        cursor = conn.cursor()
        cursor.execute("""
            UPDATE mediciones_rt
            SET Temperatura=%s, Humedad=%s, Uvi=%s
            WHERE ID=1

```

```

        """", (temperatura1, humedad1, uvi))
    conn.commit()
    cursor.close()
except:
    print("Error de insercion en la base de datos \n")

def mediciones_BD():

    try:

        datos = arduino.readline()
        arduino.write('B')
        datos = arduino.readline()
        datos_separados = datos.split("\t")
        temperatura2 = datos_separados[0]
        humedad2 = datos_separados[1]
        uvi2= datos_separados[2]
        color= datos_separados[3]

        print('Temperatura BD = ' + temperatura2)
        print('Humedad BD = ' + humedad2)
        print('UVI = ' + uvi2)
        print('Color = ' + color)
        print('\n')

    except:
        print("Error de lectura de datos, verifique la conexion
Serial")
        restart_program()

    try:
        conn = mdb.connect('localhost', 'solmaserver',
'@solmaforoUNI#', 'solmaforo')
    except:
        print("Error de conexion a la base de datos")

    try:
        cursor = conn.cursor()
        cursor.execute("INSERT INTO mediciones
(Temperatura,Humedad,Uvi,Color) VALUES (%s,%s,%s,%s)", (temperatura2,
humedad2, uvi2, color))
        conn.commit()
        cursor.close()

```

```

except:
    print("Error de insercion en la base de datos \n")

puerto = buscando_puerto()

arduino = serial.Serial(puerto, 115200, timeout= 1, dsrdtr= True)

scheduler = Scheduler()
scheduler.add(30, 0, mediciones_RT) # Agregar una tarea.
scheduler.add(300, 0, mediciones_BD) # Agregar una tarea.

with arduino:
    while True:
        scheduler.run()

```

Este script utiliza la librería scheduler2, para su instalación en Raspbian, es necesario descargarla desde su página oficial: <https://pypi.python.org/pypi/scheduler2>. Una vez descargado el archivo hay que descomprimirlo, luego desde la terminal hay que ir al directorio donde se descomprimió y ejecutar los siguientes comandos:

```

python setup.py build
sudo python setup.py install

```

Una vez instalada esta librería, es necesario otorgarle permisos al script para su ejecución:

```

sudo chmod 755 /home/solmaforo/Solmaserver/conexion_serie.py

```

Una vez hecho esto, es necesario que el script inicie en segundo plano junto con el sistema operativo, para ello, hay que crear un servicio en el directorio systemd:

```

sudo nano /lib/systemd/system/solmaforo.service

```

En el editor de texto, hay que pegar las siguientes instrucciones:

```

[Unit]
Description=Script para la comunicación serie

[Service]
Environment=DISPLAY=:0
Environment=XAUTHORITY=/home/pi/.Xauthority
ExecStart=/usr/bin/python
/home/solmaforo/Solmaserver/conexion_serie.py
Restart=always
RestartSec=10s
KillMode=process
TimeoutSec=infinity

[Install]
WantedBy=graphical.target

```

Luego, hay que guardar los cambios y ejecutar los siguientes comandos:

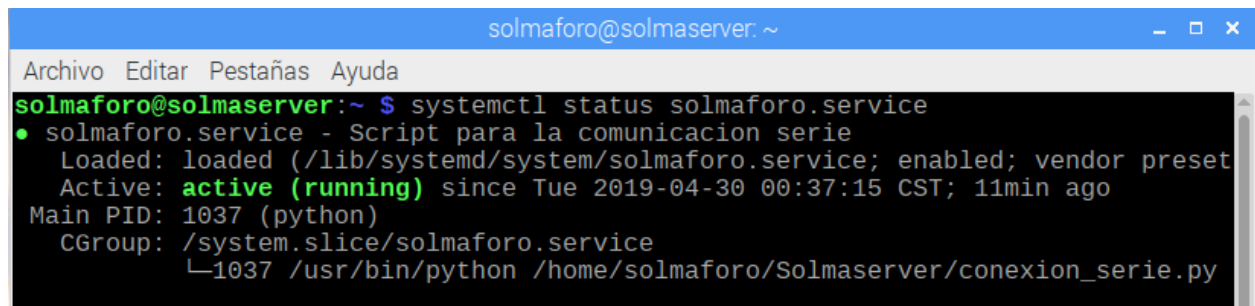
```

sudo systemctl daemon-reload
sudo systemctl enable solmaforo.service

```

Por último hay que reiniciar el sistema operativo, con el siguiente comando se puede verificar que el script esté ejecutándose en segundo plano:

```
systemctl status solmaforo.service
```



```

solmaforo@solmaserver:~ $ systemctl status solmaforo.service
● solmaforo.service - Script para la comunicacion serie
   Loaded: loaded (/lib/systemd/system/solmaforo.service; enabled; vendor preset
   Active: active (running) since Tue 2019-04-30 00:37:15 CST; 11min ago
     Main PID: 1037 (python)
        CGroup: /system.slice/solmaforo.service
                └─1037 /usr/bin/python /home/solmaforo/Solmaserver/conexion_serie.py

```

Figura Anexos C-1: Script ejecutándose en segundo plano en la Raspberry Pi.

Para mayor información puede visitar la siguiente página web:

- <https://learn.sparkfun.com/tutorials/how-to-run-a-raspberry-pi-program-on-startup/method-3-systemd>.

## Instalación de servidor Apache2

Para la instalación del servidor Apache2 es necesario ejecutar los siguientes comandos en la terminal del sistema:

```
sudo apt-get update
sudo apt-get install apache2
sudo a2enmod rewrite
sudo service apache2 restart
```

Una vez instalado, hay que configurar Apache2 para que permita el archivo .htaccess, para ello se cambia AllowOverride None a AllowOverride All como se observa a continuación:

```
<Directory /var/www/>
    Options Indexes
    FollowSymLinks
    AllowOverride All
    Require all granted
</Directory>
```

Una vez realizado esto, hay que reiniciar Apache2:

```
sudo service apache2 restart
```

Laravel necesita los siguientes permisos para poder ejecutarse, si no se asignas estos permisos a las carpetas correspondientes Laravel enviará un error y la página web no se podrá visualizar:

```
sudo usermod -a -G www-data pi
sudo usermod -m -d /var/www pi
sudo chown -R www-data:www-data /var/www
sudo chmod -R 775 /var/www
```

Para ocultar la versión de Apache2 e información sobre el sistema operativo, se debe ejecutar el siguiente comando:

```
sudo nano /etc/apache2/apache2.conf
```



Al final del archive de configuración pegar el siguiente texto:

```
#Ocultar las firmas del servidor
ServerSignature Off
ServerTokens Prod
```

Por último, hay que reiniciar Apache2:

```
sudo service apache2 restart
```

## Instalación de PHP

Para el desarrollo de la página web se utilizó el framework Laravel, este requiere una versión de PHP superior a la 7.1.3, por tal razón se decidió instalar la versión 7.2 de PHP, la cual no está en los repositorios oficiales de Raspbian; para instalarla hay que ejecutar los siguientes comandos:

```
sudo apt install apt-transport-https lsb-release ca-
certificates
sudo wget -O /etc/apt/trusted.gpg.d/php.gpg
https://packages.sury.org/php/apt.gpg
sudo sh -c 'echo "deb https://packages.sury.org/php/
$(lsb_release -sc) main" > /etc/apt/sources.list.d/php.list'
sudo apt update
sudo apt install -y php7.2 libapache2-mod-php7.2 php7.2-cli
php7.2-common php7.2-mbstring php7.2-gd php7.2-intl php7.2-xml
php7.2-mysql php7.2-zip php7.2-fpm php7.2-bcmath php7.2-curl
sudo service apache2 restart
```

## Instalación de MariaDB

```
sudo apt install mariadb-server mariadb-client
```

Una vez instalado el paquete, hay que configurar un usuario para posteriormente utilizarlo con phpmyadmin, se creará un usuario llamado solmaserver con una contraseña @solmaforoUNI#.

```
sudo mysql -u root -p
```

Ahora se ingresa uno por uno los siguientes comandos en la consola de MariaDB:

```
CREATE USER 'solmaserver'@'localhost' IDENTIFIED BY
'@solmaforoUNI#';
GRANT ALL PRIVILEGES ON *.* TO 'solmaserver'@'localhost';
FLUSH PRIVILEGES;
quit
```

Ahora se instala el paquete de instalación segura para MariaDB:

```
sudo mysql_secure_installation
```

## **Instalación de phpMyAdmin**

phpMyAdmin se utiliza para gestionar la base de datos por medio de una interfaz gráfica, para instalarlo hay que ejecutar en la terminal el siguiente comando:

```
sudo apt install phpmyadmin
```

En el asistente seleccionamos [\*]apache2 con la barra espaciadora y con tabulador nos vamos donde dice Ok.

Configure database for phpmyadmin with dbconfig-common? – Respondemos Yes

## **Instalación de servidor FTP**

El servidor FTP se implementó con el objetivo de poder actualizar el contenido de la página web de forma remota, es decir, sin necesidad de una conexión física con el servidor, a continuación los pasos para la instalación del mismo:

```
sudo apt-get install vsftpd
```

Se abre el archivo de configuración del servidor:

```
sudo nano /etc/vsftpd.conf
```

Se comentan las siguientes líneas como se observa:

```
#local_enable=YES  
#ssl_enable=NO
```

Y al final del archivo de configuración añadir las siguientes líneas de configuración:

```
# Configuración personalizada  
ssl_enable=YES  
local_enable=YES  
chroot_local_user=YES
```

```
local_root=/var/www
user_sub_token=pi
write_enable=YES
local_umask=002
allow_writeable_chroot=YES
ftpd_banner=Bienvenido.
```

Por último hay que reiniciar el servicio:

```
sudo service vsftpd restart
```

## Pasos para estimar la cantidad de almacenamiento de la base de datos

1. Especifique el número de filas que habrá en la tabla:

*Num\_Rows* = número de filas de la tabla

2. Especifique el número de columnas de longitud fija y de longitud variable, y calcule el espacio necesario para su almacenamiento:

Calcule el espacio que ocupa cada uno de estos grupos de columnas en la fila de datos. El tamaño de una columna depende del tipo y de la longitud especificada para los datos.

*Num\_Cols* = número total de columnas (de longitud fija y variable)

*Fixed\_Data\_Size* = tamaño total en bytes de todas las columnas de longitud fija

*Num\_Variable\_Cols* = número de columnas de longitud variable

*Max\_Var\_Size* = tamaño máximo total en bytes de todas las columnas de longitud variable

3. Una parte de la fila, conocida como el mapa de bits NULL, se reserva para administrar la nulabilidad en las columnas. Calcule el tamaño:

*Null\_Bitmap* =  $2 + ((Num\_Cols + 7) / 8)$

Solo debe utilizarse la parte entera de la expresión anterior. Descarte el resto.

4. Calcule el tamaño de los datos de longitud variable:

Si hay columnas de longitud variable en la tabla, determine cuánto espacio se utiliza para almacenar las columnas en la fila:

$$\text{Variable\_Data\_Size} = 2 + (\text{Num\_Variable\_Cols} \times 2) + \text{Max\_Var\_Size}$$

Los bytes agregados a *Max\_Var\_Size* son para el seguimiento de cada columna de longitud variable. En esta fórmula se supone que todas las columnas de longitud variable están llenas al 100%. Si prevé que se va a usar un porcentaje inferior del espacio de almacenamiento de columnas de longitud variable, puede ajustar el valor de *Max\_Var\_Size* en función de ese porcentaje para obtener una estimación más precisa del tamaño global de la tabla.

**Nota:**

Puede combinar las columnas **varchar**, **nvarchar**, **varbinary** y **sql\_variant** que hacen que el ancho total definido para la tabla sea superior a 8060 bytes. La longitud de cada una de estas columnas debe ajustarse al límite de 8.000 bytes en una columna **varchar**, **nvarchar**, **varbinary** o **sql\_variant**. Sin embargo, el ancho combinado puede superar el límite de 8.060 bytes de una tabla.

Si no hay columnas de longitud variable, establezca *Variable\_Data\_Size* en 0.

5. Calcule el tamaño total de la fila:

$$\text{Row\_Size} = \text{Fixed\_Data\_Size} + \text{Variable\_Data\_Size} + \text{Null\_Bitmap} + 4$$

El valor 4 de la fórmula representa la sobrecarga del encabezado de la fila de datos.

6. Calcule el número de filas por página (8096 bytes libres por página):

$$\text{Rows\_Per\_Page} = 8096 / (\text{Row\_Size} + 2)$$

Dado que las filas no abarcan varias páginas, el número de filas por página debe redondearse hacia abajo a la fila completa más cercana. El valor 2 de la fórmula representa la entrada de la fila en la matriz de zonas de la página.

7. Calcule el número de páginas necesarias para almacenar todas las filas:

$$\text{Num\_Pages} = \text{Num\_Rows} / \text{Rows\_Per\_Page}$$

El número de páginas estimado debe redondearse hacia arriba a la página completa más cercana.

8. Calcule el espacio necesario para almacenar los datos en el montón (8192 bytes en total por página):

$$\text{Tamaño del montón (bytes)} = 8192 \times \text{Num\_Pages}$$

Siguiendo todos estos pasos se elaboró una tabla en Excel :

<i>Num_Rows</i>	<i>Num_Cols</i>	<i>Fixed_Data_Size</i>	<i>Num_Variable_Cols</i>	<i>Max_Var_Size</i>	<i>Null_Bitmap</i>	<i>Variable_Data_Size</i>	<i>Row_Size</i>	<i>Rows_Per_Page</i>	<i>Num_Pages</i>	Tamaño de la tabla (bytes)	Tamaño tabla en Megabyte x día	Almacenamiento aproximado un año
72	6	20	1	14	3.86	18	45	172.2553191	0.41798419	8192	8	2.8515625

**Figura Anexos C-2: Tabla elaborada en Excel para la estimación del peso de una tabla de la base de datos.**

Por medio de la cual se estimó que la información almacenada por el Solmáforo en la base de datos tendría un peso de aproximadamente 3GB en un año.

Para mayor información puede visitar los siguientes enlaces:

- <https://cristiantala.cl/calcular-la-maxima-cantidad-de-clientes-en-apache2-prefork/>
- <https://a.blazemeter.com/app/#/accounts/313172/workspaces/308010/projects/385748/masters/19375013/summary>
- [https://www.w3schools.com/sql/sql\\_datatypes.asp](https://www.w3schools.com/sql/sql_datatypes.asp)
- <https://social.msdn.microsoft.com/Forums/es-ES/847008c3-61b6-41b2-b1c7-e42a18355f3c/calcular-el-tamano-estimativo-que-puede-llegar-a-tener-la-base-de-datos?forum=sqlserveres>
- <https://docs.microsoft.com/es-es/sql/relational-databases/databases/estimate-the-size-of-a-heap?view=sql-server-2017>
- <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/integer-types.html>
- <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/char.html>
- <https://desarrolloweb.com/articulos/1054.php>
- <https://styde.net/motores-de-almacenamiento-en-dbms-derivados-de-mysql/>

## Comandos útiles para la elaboración los cálculos:

Consulta en mysql para ver el tamaño de las tablas de la base de datos solmaforo:

```
SELECT table_name AS "Tabla",  
       round(((data_length + index_length) / 1024 / 1024), 2)  
"MB"  
FROM information_schema.TABLES  
WHERE table_schema = "solmaforo"  
ORDER BY (data_length + index_length) DESC;
```

Consulta para ver el tamaño general de todas las base de datos del servidor:

```
select  
    table_schema "DATABASE",  
    convert(sum(data_length+index_length)/1048576,decimal(6,2))  
"SIZE (MB)"  
from  
    information_schema.tables  
where  
    table_schema!="information_schema"  
group by  
    table_schema;
```

## ANEXO D CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA

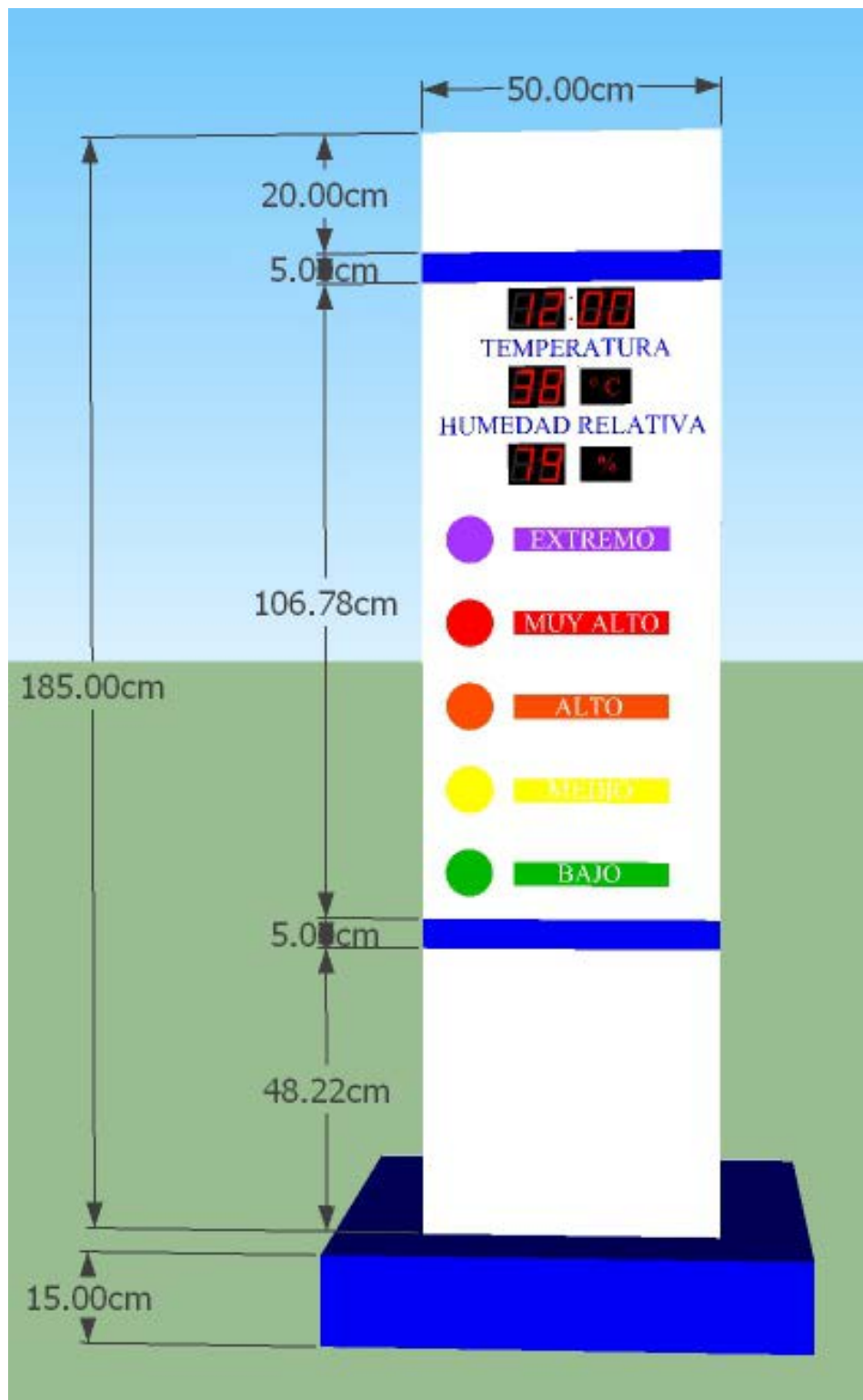


Figura Anexos D-1

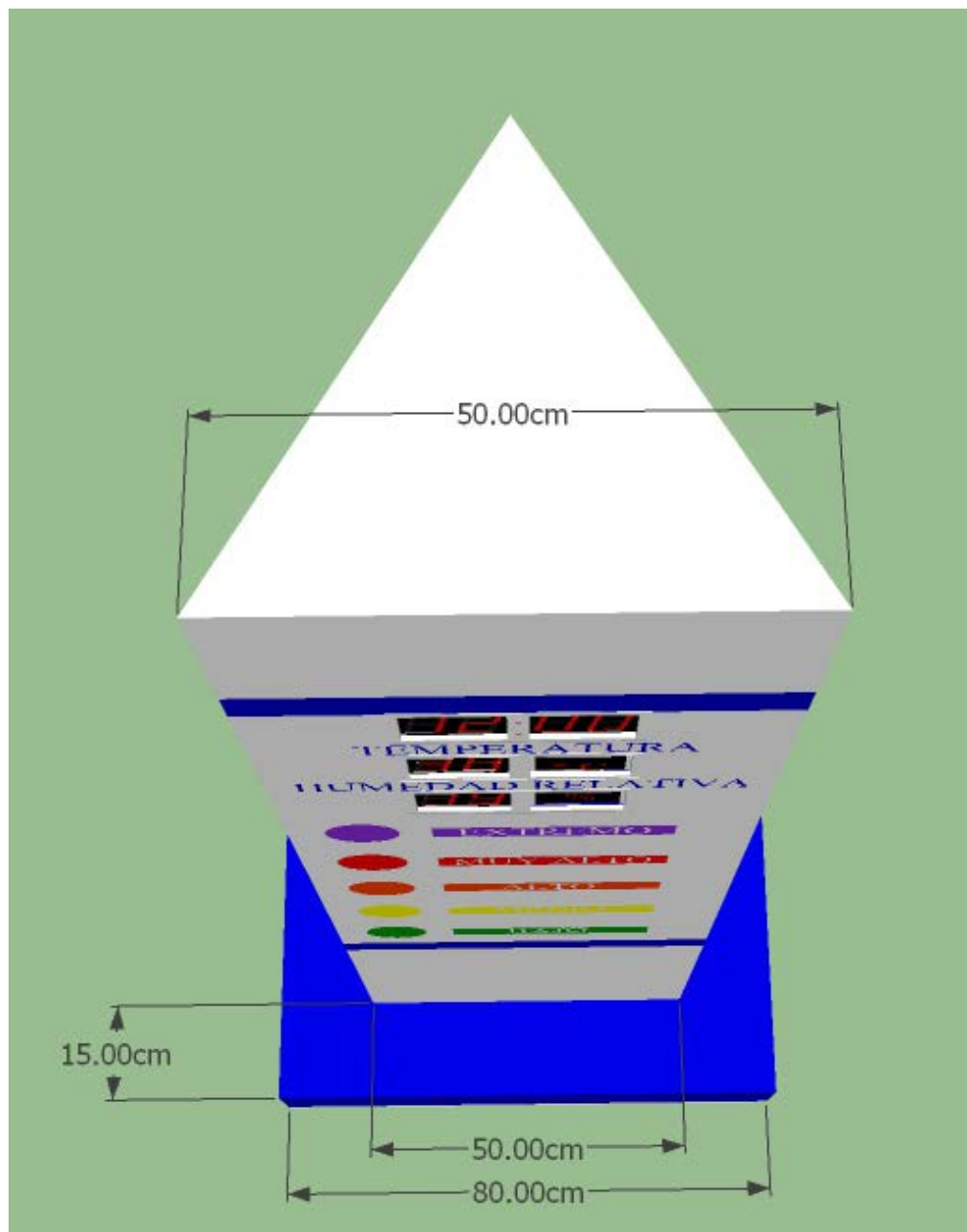


Figura Anexos D-2



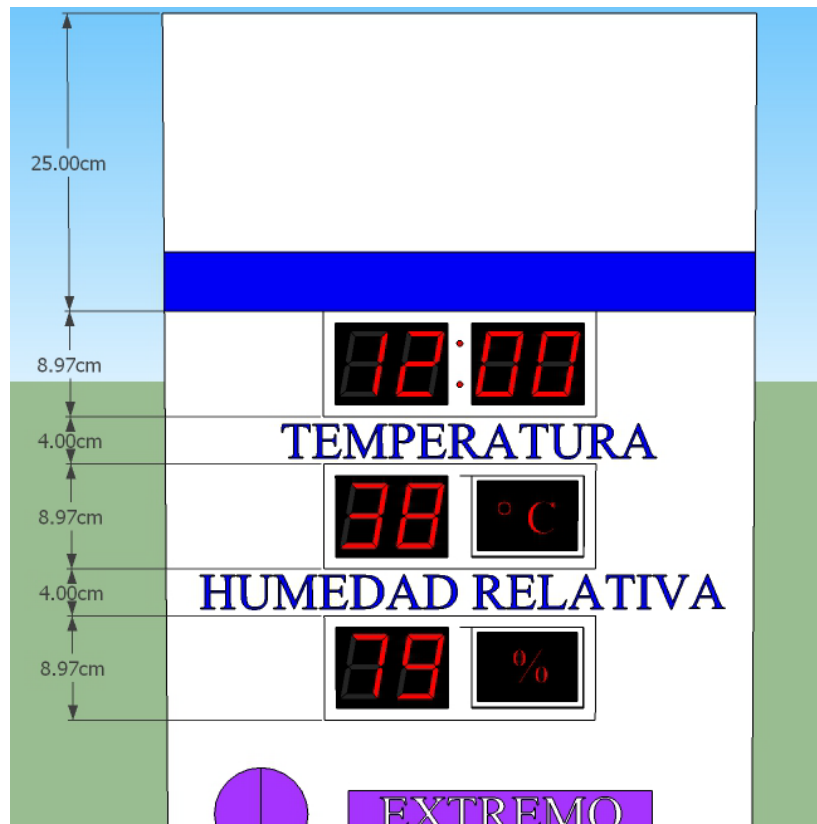


Figura Anexos D-3

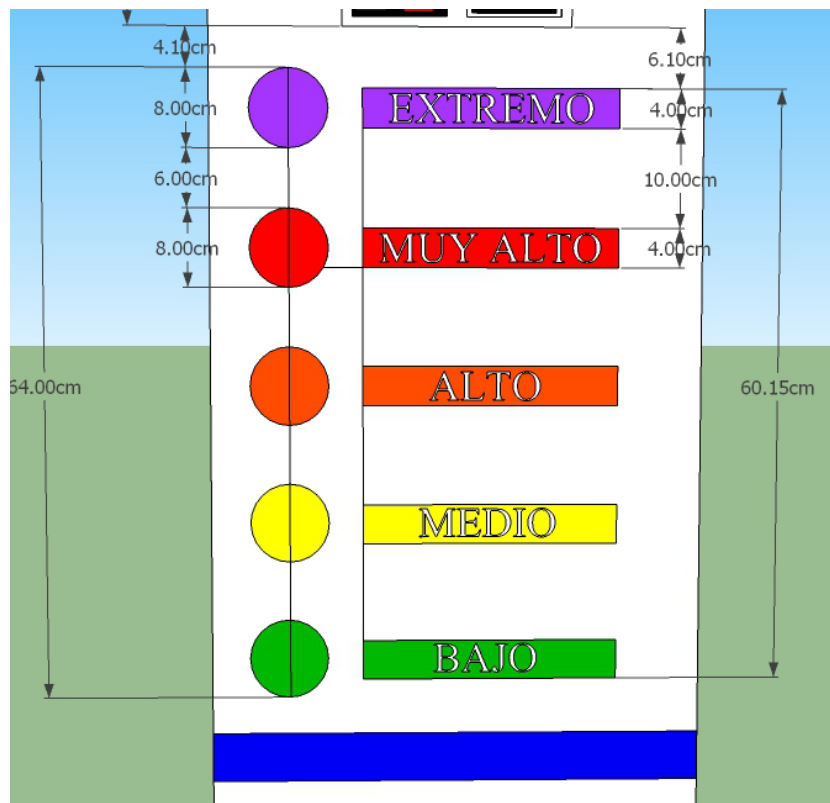


Figura Anexos D-4

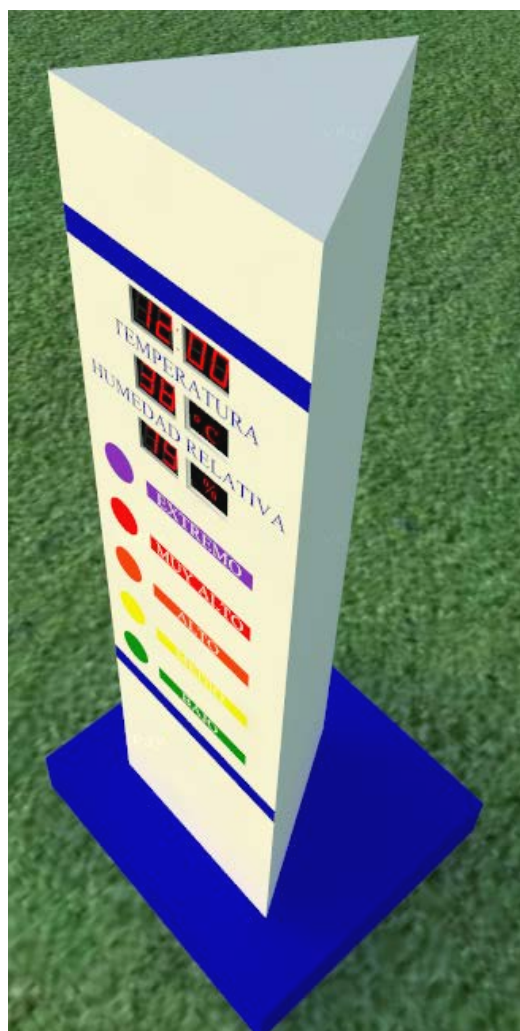


Figura Anexos D-5



Figura Anexos D-6: Diseño de las carátulas de la estructura del proyecto.

**Fotografías del proceso de construcción de la estructura:**



**Figura Anexos D-7**





Figura Anexos D-8



Figura Anexos D-9



## ANEXO E FOTOGRAFÍAS CONSTRUCCIÓN DEL SOLMÁFORO

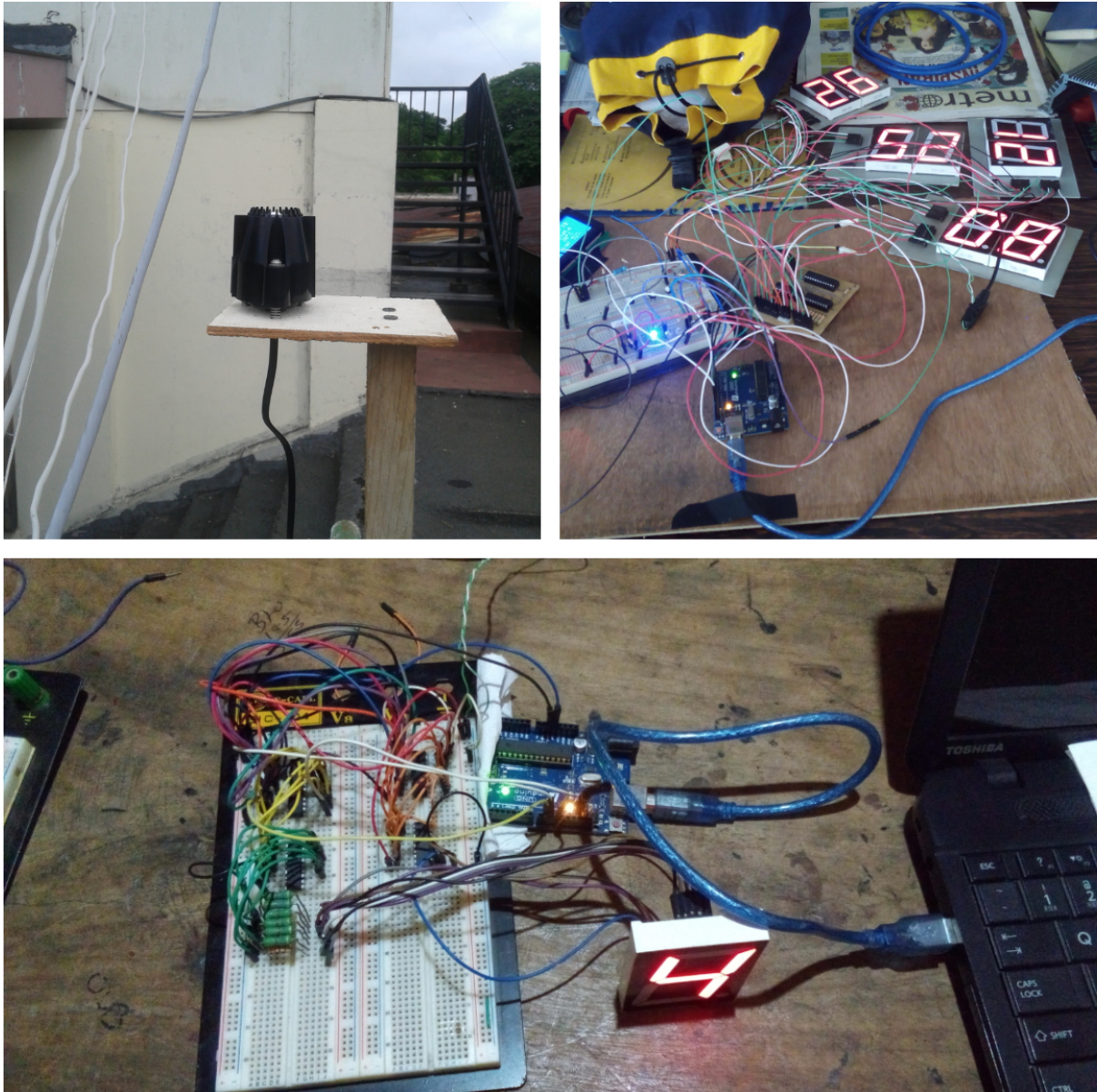
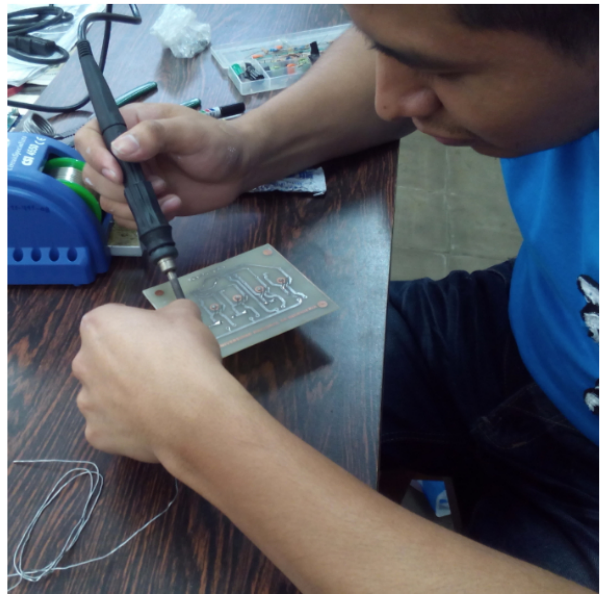


Figura Anexos E-1



**Figura Anexos E-2**



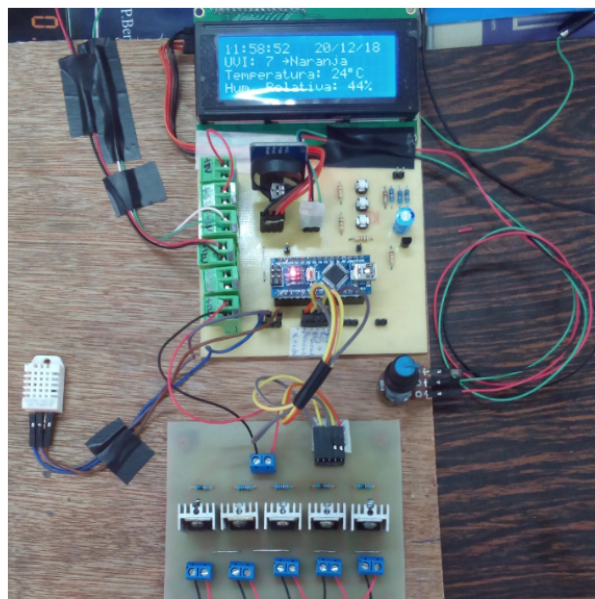


Figura Anexos E-3

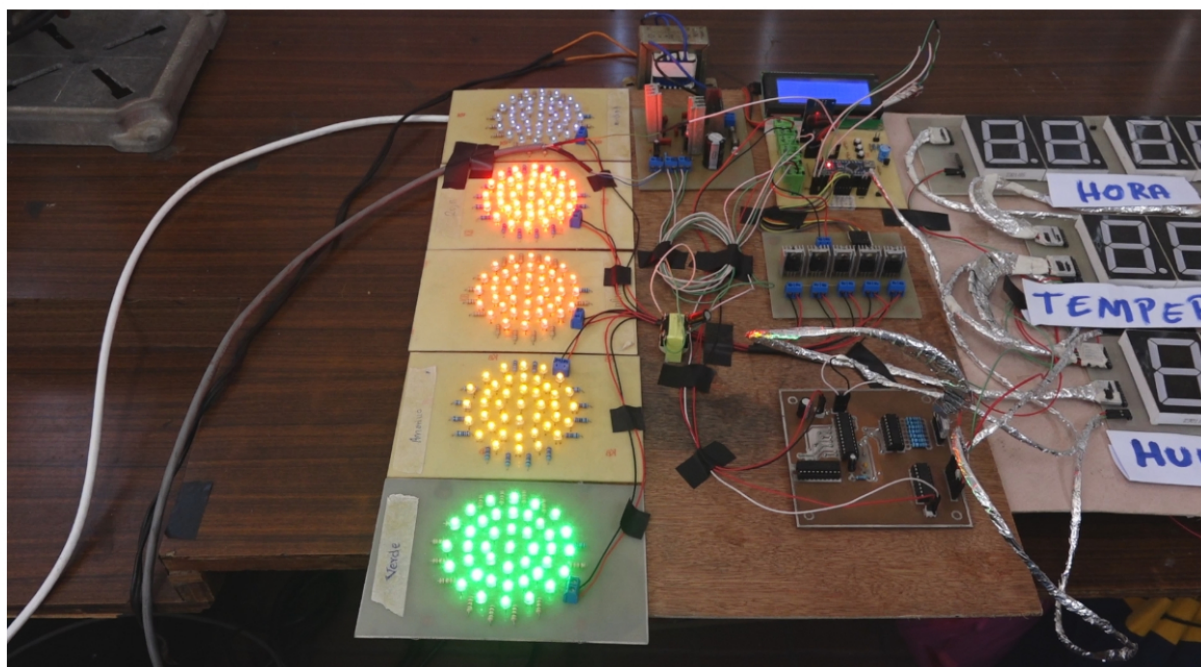
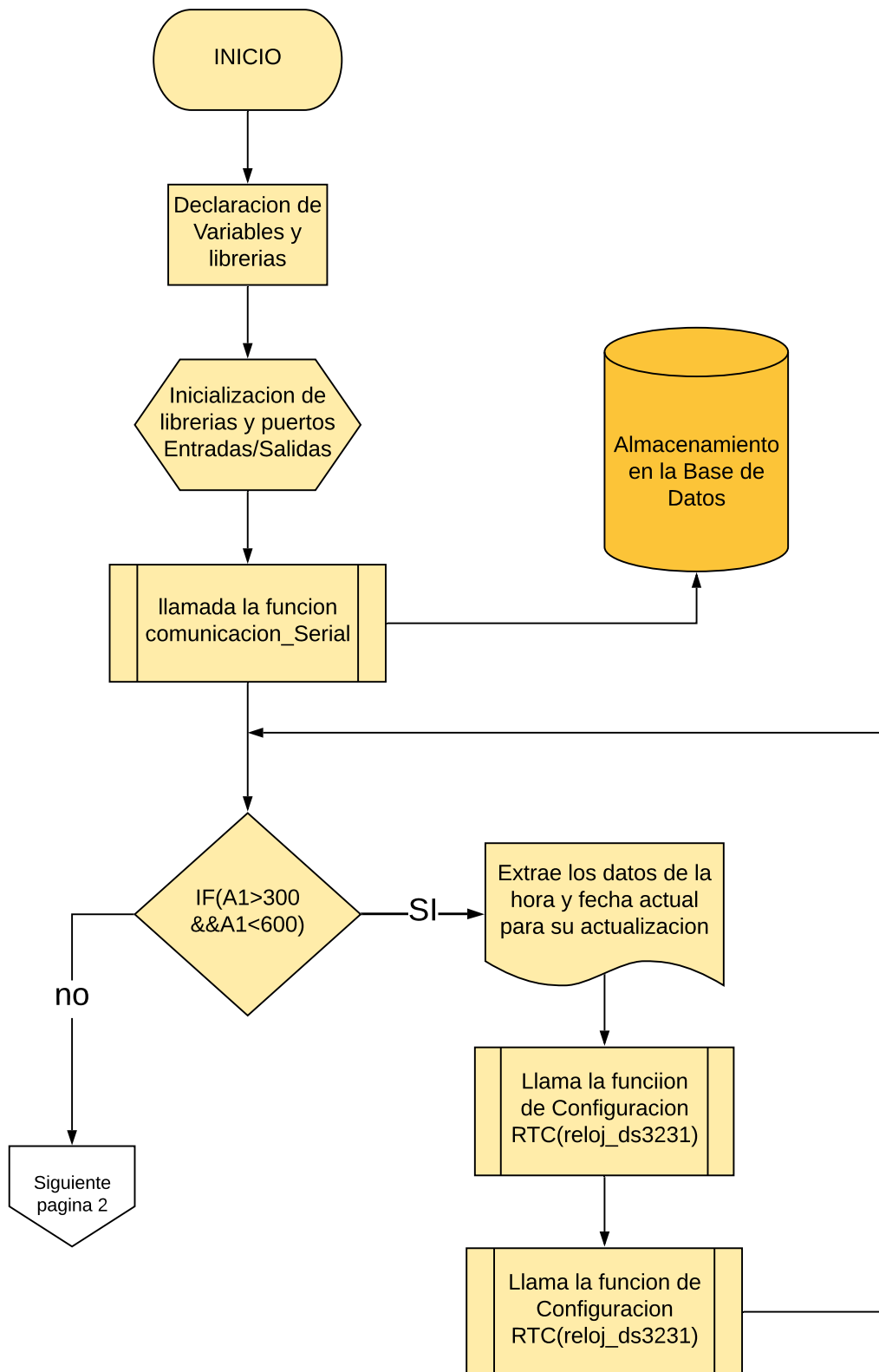
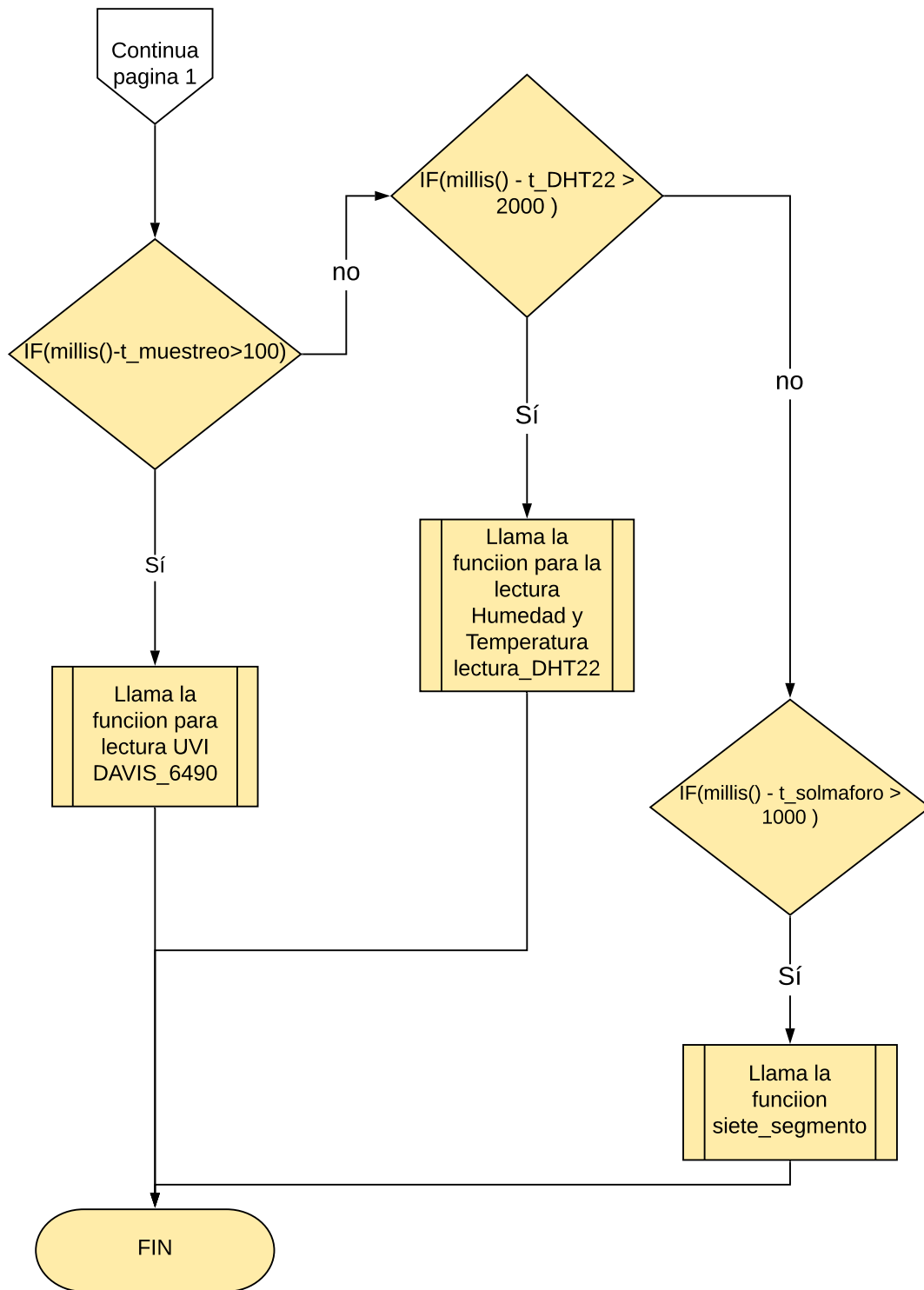


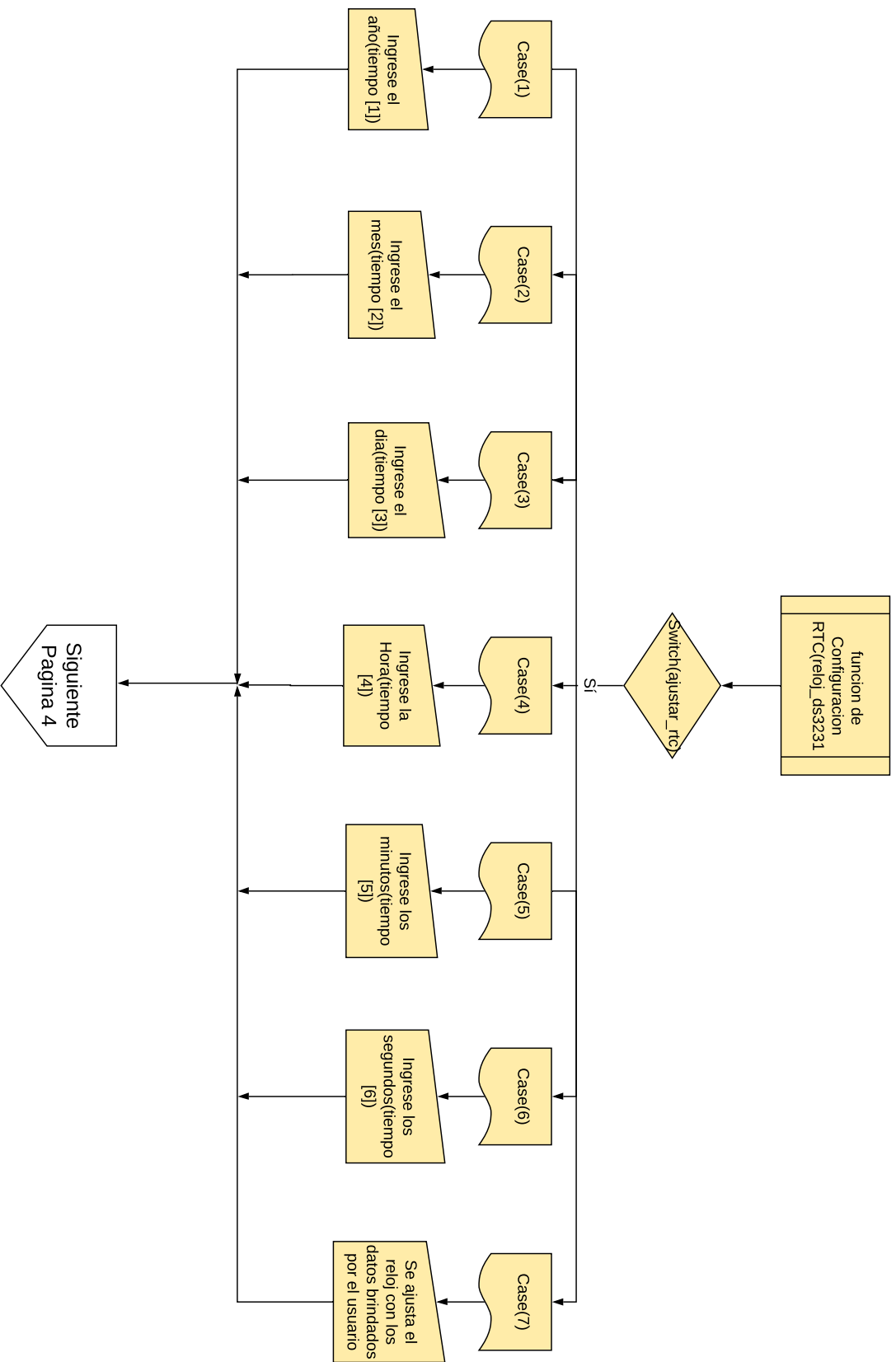
Figura Anexos E-4

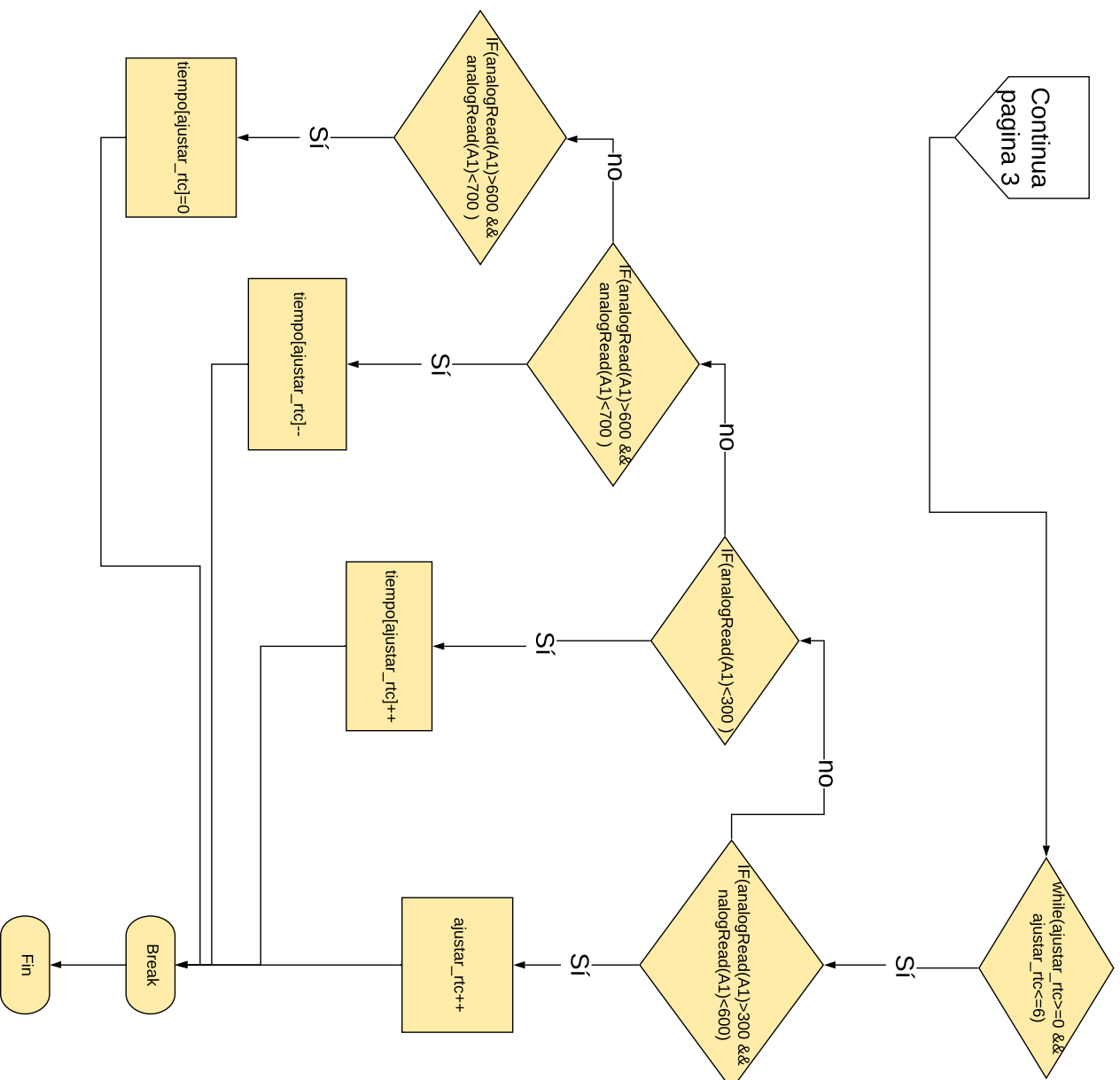
## **ANEXO F    DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR**

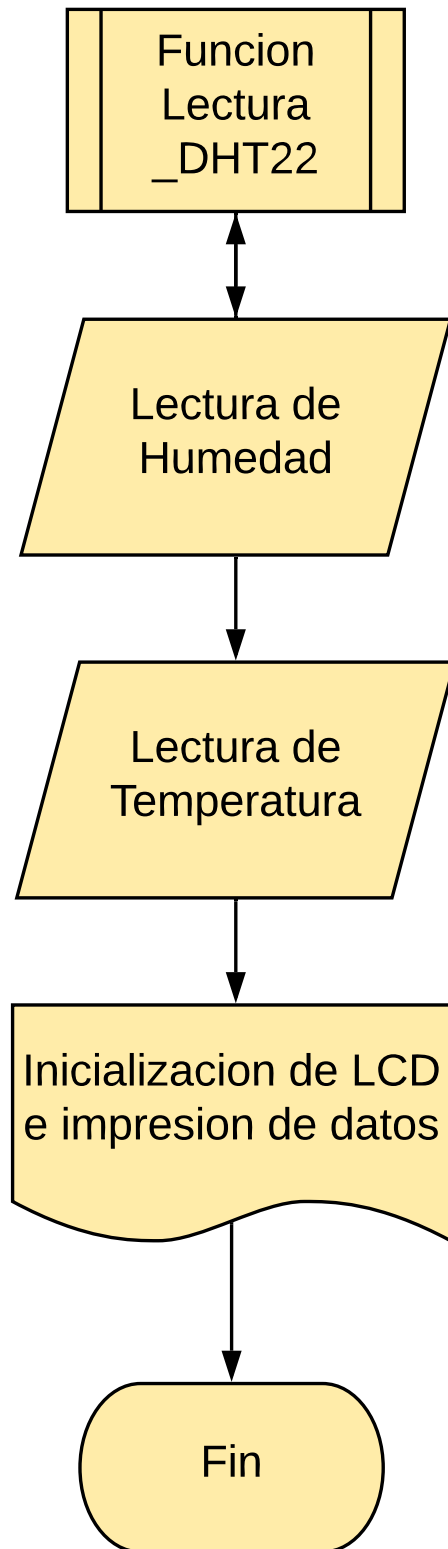




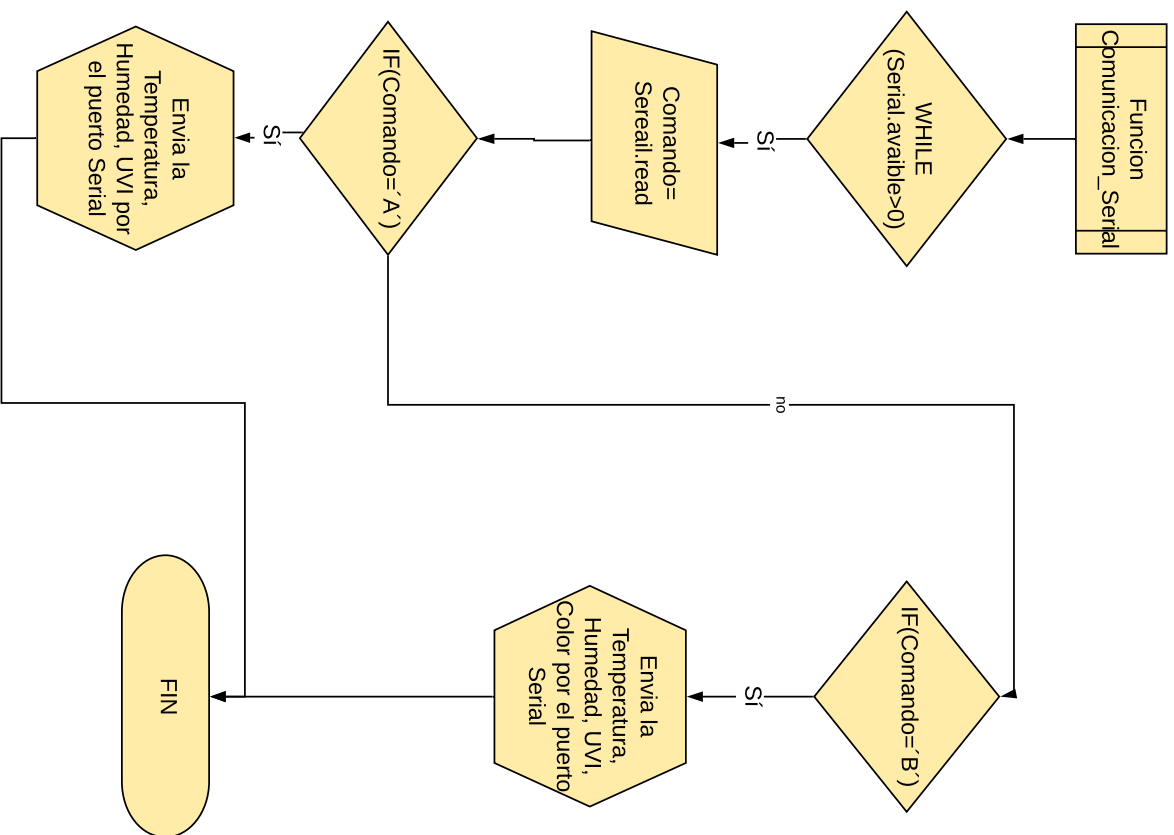


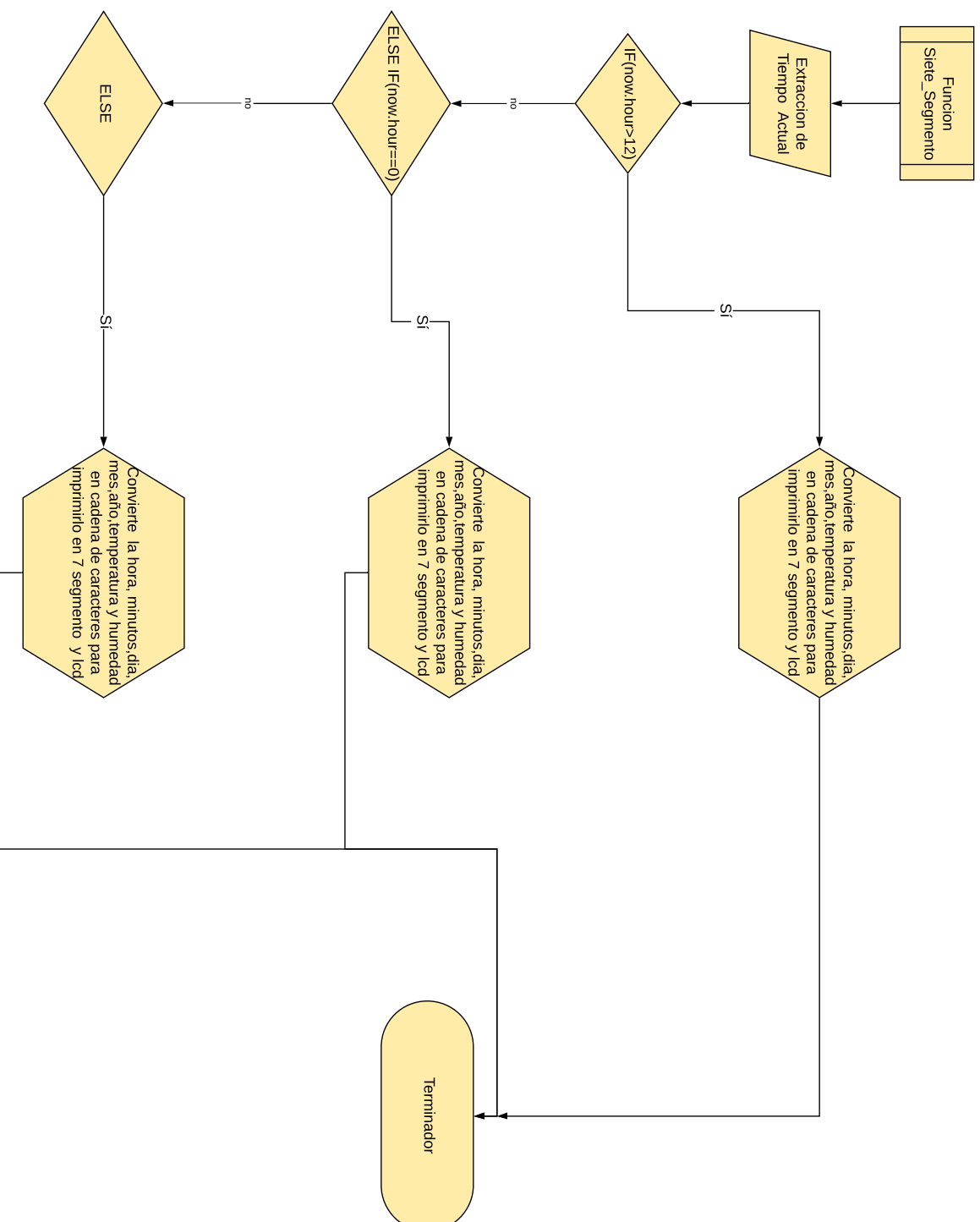


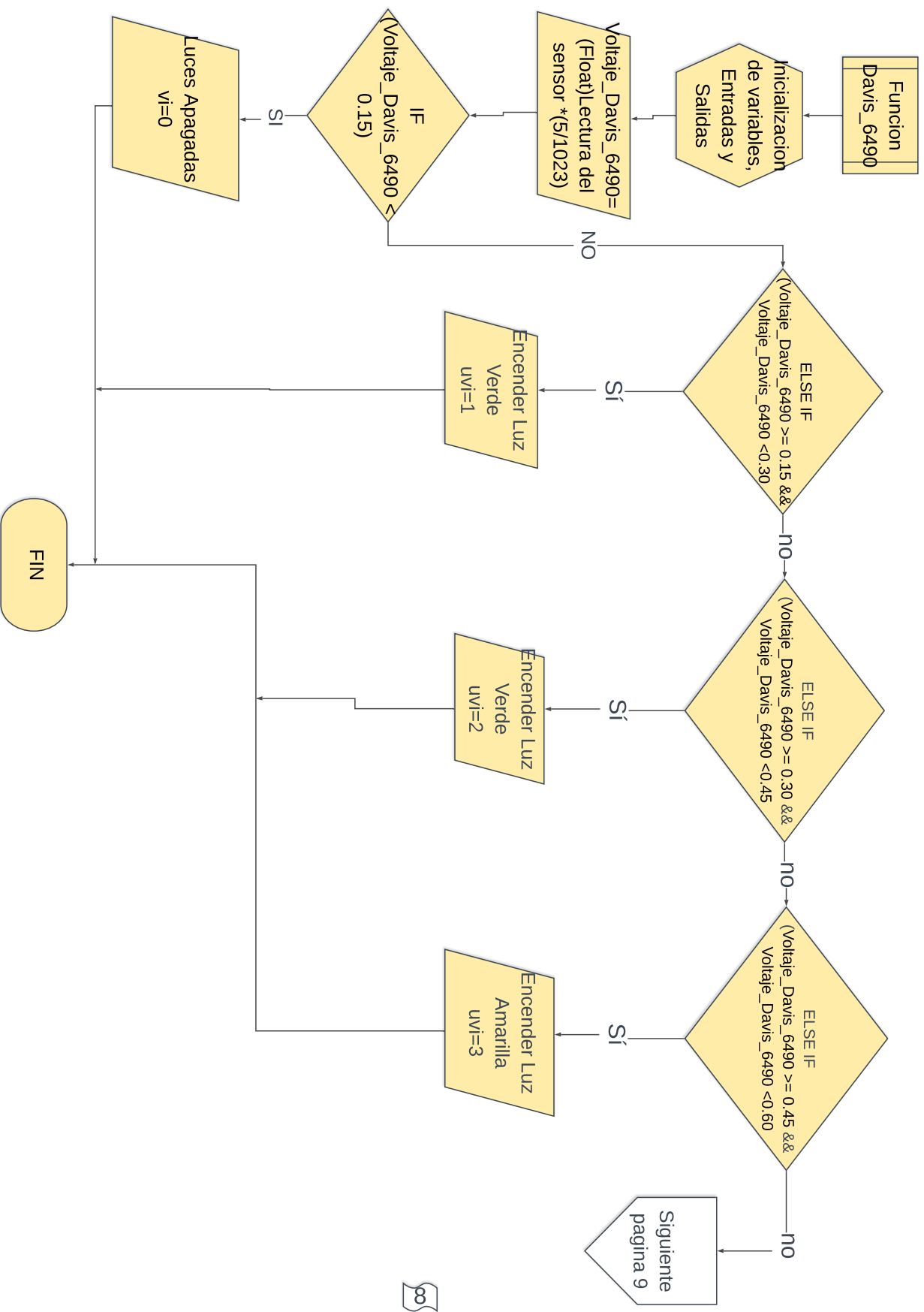


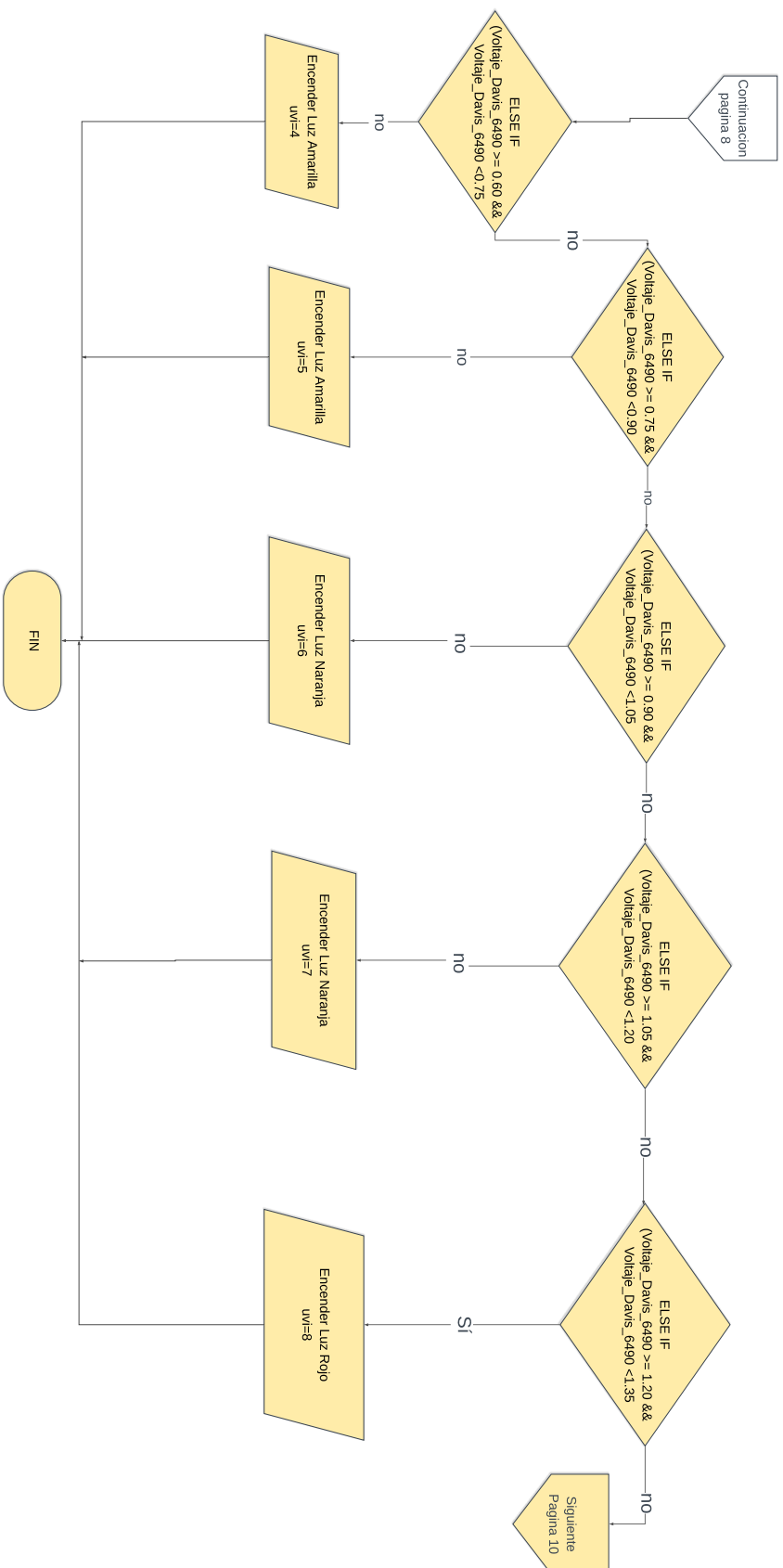


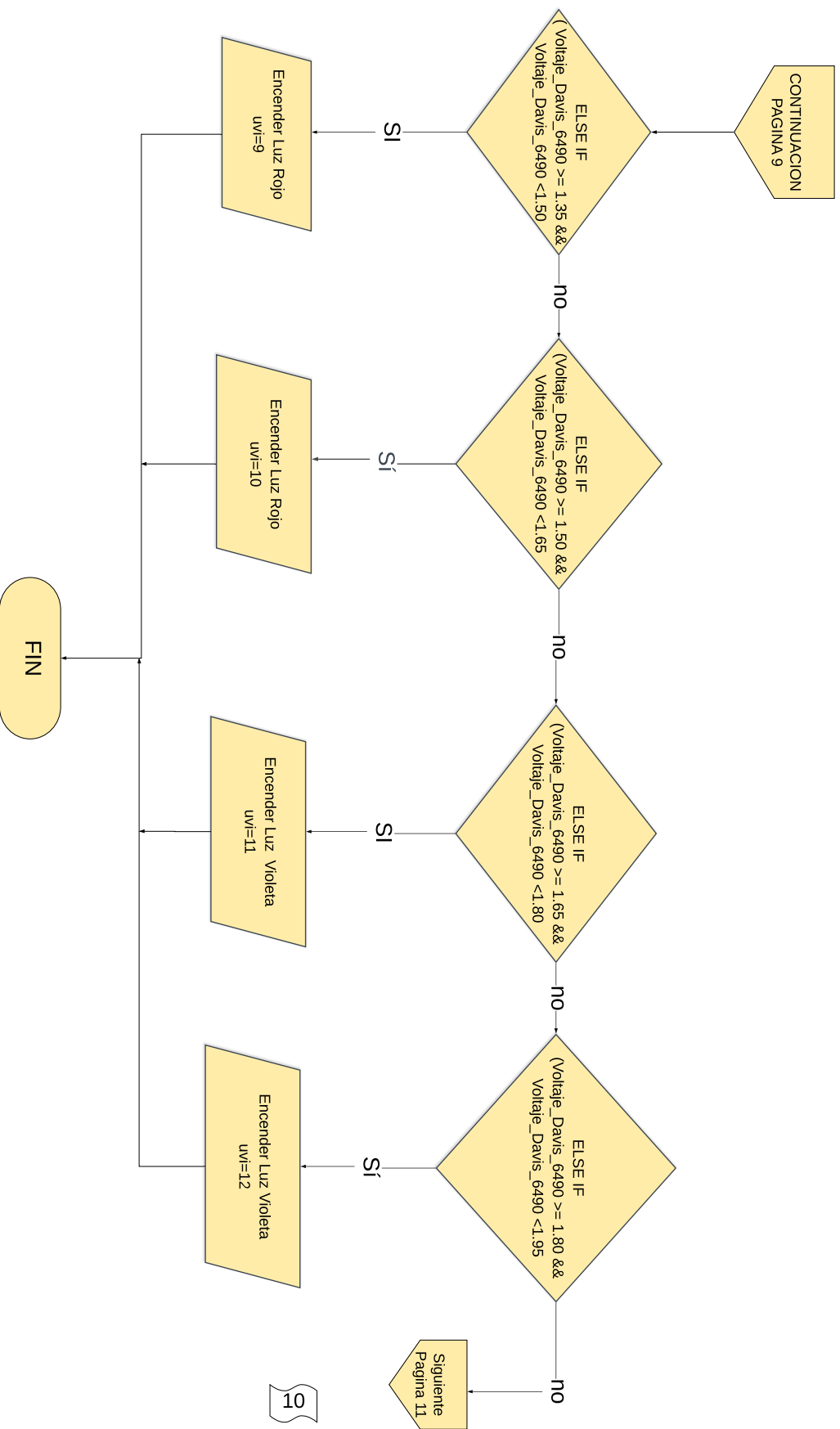


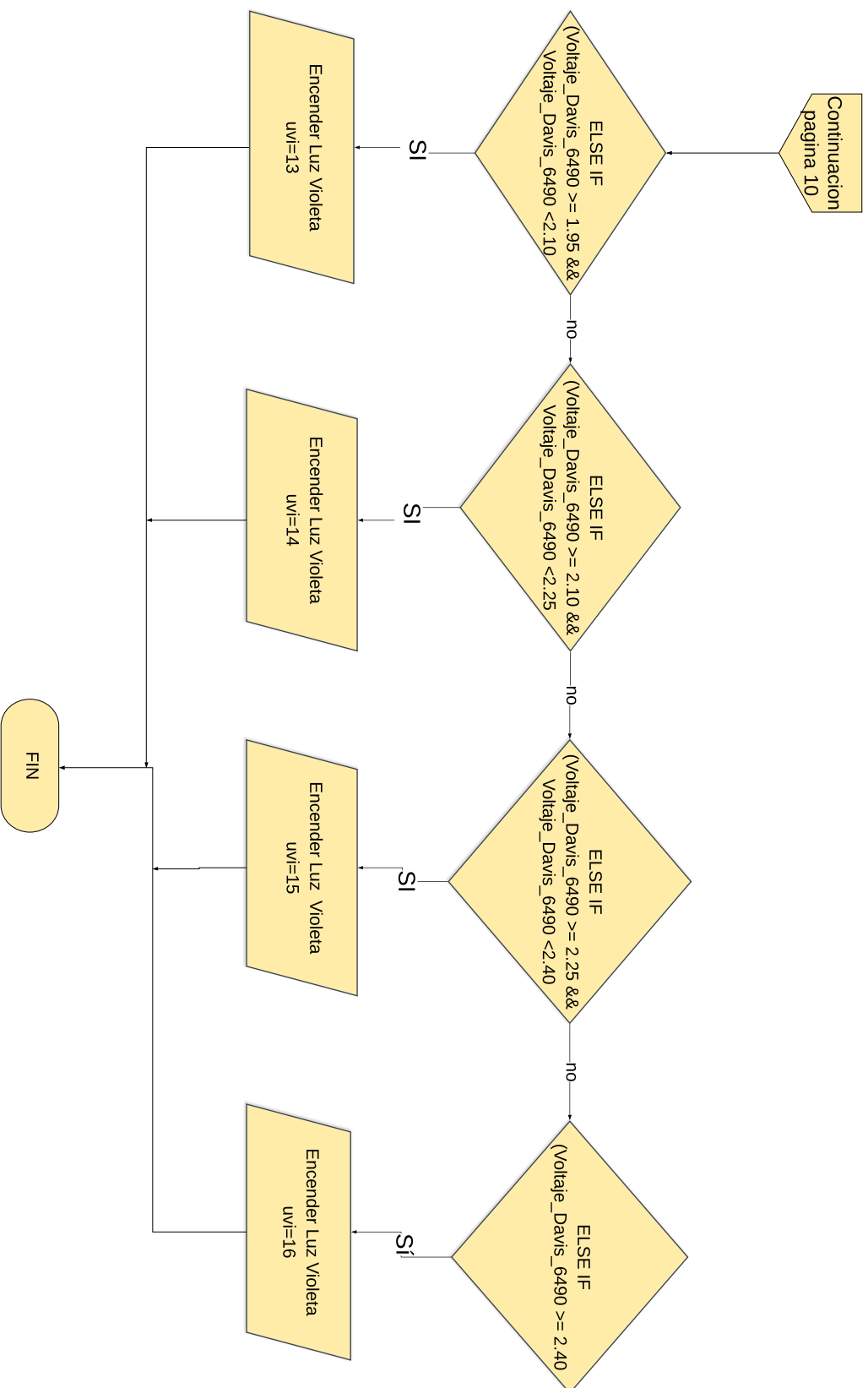












## **ANEXO G    CÓDIGO DEL MICROCONTROLADOR**

/\*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACION  
INGENIERIA ELECTRONICA

Solmaforo v1.2

Jorge Vallejos

Yerri Ruiz

Marlon Munguia

Todas las librerías utilizadas, son propiedad de sus autores  
y pueden ser obtenidas desde el gestor de librerías de Arduino.

Managua, Nicaragua.

Mayo de 2019

\*/

```
#include <SPI.h>
#include <BitBangedSPI.h>
#include <MAX7219.h>
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"
#include "DHT.h"
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 4); //Se define un lcd 20x4, con la dirección 0x27
#define DHTPIN 7
#define DHTTYPE DHT21 //Se configura un sensor AM2301
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); //Se define un AM2301 conectado al pin #7

#define PIN_VERDE 2 //Foco Verde conectado al pin #2
#define PIN_AMARILLO 3 //Foco Amarillo conectado al pin #3
```



```

#define PIN_NARANJA 4      //Foco Naranja conectado al pin #4
#define PIN_ROJO 5        //Foco Rojo conectado al pin #5
#define PIN_MORADO 6      //Foco Morado conectado al pin #6
#define PIN_SEGUNDOS 8    //LED de los segundos conectados al pin #8

const byte chips = 1; // Se define un solo chip MAX7219
MAX7219 display (chips, 9, 10, 11); // Chips / LOAD / DIN / CLK

unsigned long lectura_sensor;          //Variable para el control de la
lectura del ADC

float voltaje_DAVIS_6490;              //Variable para almacenar el voltaje de
salida del UVM-30A

unsigned long t_solmaforo = 0;         //Variables para control de tiempo
unsigned long t_segmentos = 0;         //Variables para control de tiempo
unsigned long t_AM2301 = 0;            //Variables para control de tiempo
unsigned long t_muestreo = 0;          //Variables para control de tiempo
unsigned long t_DAVIS_6490 = 0;        //Variables para control de tiempo
unsigned long currentMillis;
unsigned long previousMillis = 0;

int ledState = LOW;

int temperatura = 0;                  //Variable para almacenar la medicion de
temperatura

int humedad = 0;                      //Variable para almacenar la medicion de
humedad

char comando;

String color;

int uvi = 0;

RTC_DS3231 rtc;

int ajustar_rtc = 0;                  //Variable para llamar a la
función de ajuste para el RTC

int tiempo[7] = {0, 2018, 1, 1, 0, 0, 0}; //Arreglo para ajustar los
parámetros del RTC.

char hora_fecha[6];                  //Arreglo para presentar en el lcd
char segmentos[8];                    //Arreglo para presentar en los 7
segmentos

```

```

byte eneMin[8] = //Matriz para la definición del
caracter "ñ"
{
    0b00001111,
    0b00000000,
    0b00010110,
    0b00011001,
    0b00010001,
    0b00010001,
    0b00010001,
    0b00000000
};

byte carita[8] = //Matriz para la definición de cara feliz
{
    0b00000000,
    0b00001010,
    0b00001010,
    0b00001010,
    0b00000000,
    0b00010001,
    0b00001110,
    0b00000000
};

void reloj_ds3231(); //Función para ajustar los parámetros del
reloj

float DAVIS_6490(); //Función para leer el sensor de radiación
UV

void solmaforo(); //Función para encender los focos del
sol máforo

void lectura_AM2301(); //Función para la lectura de la temperatura
y la humedad

```

```

void siete_segmentos();           //Función para imprimir la información en
pantalla

void comunicacion_serial();       //Función para enviar datos por el puerto
serie a la Raspberry Pi

void driver_segmentos();          //Función para inicializar el MAX7219 si la
alimentación falla.

void blink();                     //Función para poner intermitente un foco LED


void setup()
{

    Serial.begin(115200);          //Se inicializa la conexión serie con una
    velocidad de 115200 baudios.
    lcd.init();                   //Se inicializa el display lcd
    lcd.createChar(1, eneMiñ);    //Se crea el carácter personalizado "ñ"
    lcd.createChar(2, carita);    //Se crea el carácter personalizado "Carita
    Feliz"
    lcd.backlight();              //Se activa la luz de fondo del lcd
    rtc.begin();                  //Se inicializa el RTC
    dht.begin();                  //Se inicializa el AM2301
    display.begin();              //Se inicializa el MAX7219


    //Se declaran los pines conectados a los LED's como salidas
    pinMode(PIN_VERDE, OUTPUT);
    pinMode(PIN_AMARILLO, OUTPUT);
    pinMode(PIN_NARANJA, OUTPUT);
    pinMode(PIN_ROJO, OUTPUT);
    pinMode(PIN_MORADO, OUTPUT);
    pinMode(PIN_SEGUNDOS, OUTPUT);
    pinMode(12, INPUT);           //Se declara el pin #12 como entrada.


    digitalWrite(PIN_VERDE, HIGH);
    digitalWrite(PIN_AMARILLO, HIGH);
    digitalWrite(PIN_NARANJA, HIGH);
    digitalWrite(PIN_ROJO, HIGH);
    digitalWrite(PIN_MORADO, HIGH);

```

```

digitalWrite(PIN_SEGUNDOS, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(PIN_VERDE, LOW);
digitalWrite(PIN_AMARILLO, LOW);
digitalWrite(PIN_NARANJA, LOW);
digitalWrite(PIN_ROJO, LOW);
digitalWrite(PIN_MORADO, LOW);
delay(1000);
digitalWrite(PIN_VERDE, HIGH);
digitalWrite(PIN_AMARILLO, HIGH);
digitalWrite(PIN_NARANJA, HIGH);
digitalWrite(PIN_ROJO, HIGH);
digitalWrite(PIN_MORADO, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(PIN_VERDE, LOW);
digitalWrite(PIN_AMARILLO, LOW);
digitalWrite(PIN_NARANJA, LOW);
digitalWrite(PIN_ROJO, LOW);
digitalWrite(PIN_MORADO, LOW);

lcd.setCursor(6, 2); // lcd.setCursor(Columna , Fila)
lcd.print("SOLMAFORO");
lcd.setCursor(9, 3);
lcd.print("UNI");
display.sendString("-----");
delay(1000);

}

void loop()
{
    currentMillis = millis();
    comunicacion_serial(); //Se llama a la función de comunicación serie.
}

```

```

    if (analogRead(A1) > 300 && analogRead(A1) < 600) //Si se presionó el botón
Enter
    {
        //Obtengo los datos iniciales del reloj para luego ajustarlos
        DateTime now = rtc.now();
        tiempo[1] = (int)now.year();
        tiempo[2] = (int)now.month();
        tiempo[3] = (int)now.day();
        tiempo[4] = (int)now.hour();
        tiempo[5] = (int)now.minute();
        tiempo[6] = (int)now.second();

        reloj_ds3231(); //Se llama a la función de configuración del RTC
    }

    if (millis() - t_muestreo > 500 )
    {
        DAVIS_6490(); //Se lee la medición del sensor de radiación UV
        t_muestreo = millis();
    }

    if (millis() - t_AM2301 > 500 ) //Se lee la medición del DHT22
    {
        lectura_AM2301();
        t_AM2301 = millis();
    }

    if (millis() - t_solmaforo > 5000 ) //Se activa el color de UVI
correspondiente
    {
        solmaforo();
        t_solmaforo = millis();
    }

```

```

}

if (millis() - t_segmentos > 1000 ) //Se imprime la información en pantalla
{
    siete_segmentos();
    t_segmentos = millis();
}

}

//BLOQUE DE DEFINICIÓN DE FUNCIONES

//Función de configuración del RTC
void reloj_ds3231() {

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(3, 0);
    lcd.print("Configurar RTC");
    delay(1000);
    ajustar_rtc = 1;

    while (ajustar_rtc >= 0 && ajustar_rtc <= 6)
    {

        if (analogRead(A1) > 300 && analogRead(A1) < 600) {
            ajustar_rtc++; //Si se presionó la tecla Enter
        }
        if (analogRead(A1) < 300) {
            tiempo[ajustar_rtc]++; //Aumentar la variable (Botón Subir)
        }
    }
}

```

```

if (analogRead(A1) > 600 && analogRead(A1) < 700) {
    tiempo[ajustar_rtc]--; //Disminuir la variable (Botón Bajar)
}
if (tiempo[ajustar_rtc] < 0) {
    tiempo[ajustar_rtc] = 0;
}

switch (ajustar_rtc) {
    case 1: {
        lcd.setCursor(3, 1);
        lcd.print("Ingrese el A");
        lcd.write(1);
        lcd.print("o: ");
        lcd.setCursor(8, 2);
        lcd.print(tiempo[1]);
        delay(150);
    }
    break;
    case 2: {

        if (tiempo[2] <= 0 || tiempo[2] > 13) {
            tiempo[2] = 1;
        }

        lcd.setCursor(3, 1);
        lcd.print("Ingrese el Mes: ");
        lcd.setCursor(0, 2);
        lcd.print(" ");
        lcd.setCursor(9, 2);
        lcd.print(tiempo[2]);
        lcd.setCursor(11, 2);
        lcd.print(" ");
        delay(150);
    }
}

```

```

        break;
    case 3: {

        if (tiempo[3] <= 0 || tiempo[3] > 31) {
            tiempo[3] = 1;
        }

        lcd.setCursor(3, 1);
        lcd.print("Ingrese el Dia: ");
        lcd.setCursor(0, 2);
        lcd.print("          ");
        lcd.setCursor(9, 2);
        lcd.print(tiempo[3]);
        lcd.setCursor(11, 2);
        lcd.print(" ");
        delay(150);
    }
    break;
    case 4: {

        if (tiempo[4] < 0 || tiempo[4] > 23) {
            tiempo[4] = 0;
        }

        lcd.setCursor(3, 1);
        lcd.print("Ingrese la Hora: ");
        lcd.setCursor(0, 2);
        lcd.print("          ");
        lcd.setCursor(9, 2);
        lcd.print(tiempo[4]);
        lcd.setCursor(11, 2);
        lcd.print(" ");
        delay(150);
    }

```



```

        break;
    case 5: {

        if (tiempo[5] < 0 || tiempo[5] > 59) {
            tiempo[5] = 0;
        }

        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Ingrese los Minutos: ");
        lcd.setCursor(0, 2);
        lcd.print("          ");
        lcd.setCursor(9, 2);
        lcd.print(tiempo[5]);
        lcd.setCursor(11, 2);
        lcd.print(" ");
        delay(150);
    }
    break;
    case 6: {

        if (tiempo[6] < 0 || tiempo[6] > 59) {
            tiempo[6] = 0;
        }

        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Ingrese los Segundos");
        lcd.setCursor(0, 2);
        lcd.print("          ");
        lcd.setCursor(9, 2);
        lcd.print(tiempo[6]);
        lcd.setCursor(11, 2);
        lcd.print(" ");
        delay(150);
    }
    break;

```

```

        case 7: {
            rtc.adjust(DateTime(tiempo[1], tiempo[2], tiempo[3], tiempo[4],
            tiempo[5], tiempo[6])); //Se configura el reloj con los datos dados por el
            usuario.

            lcd.clear();
            lcd.setCursor(3, 0);
            lcd.print("RTC Ajustado!");
            lcd.setCursor(9, 1);
            lcd.write(2);
            delay(2000);
            lcd.clear();
        }
        break;
    }
}
}
}

```

//Función para la lectura de la medición del sensor UV

```
float DAVIS_6490() {
```

```

    lectura_sensor = analogRead(A2); //Se lee el canal A2 del ADC
    delay(1);
    voltaje_DAVIS_6490 = (float)lectura_sensor * (5.0 / 1023.0); //Se convierte
    la lectura del ADC en tensión
}

```

//Función para la presentación del Índice UV

```
void solmaforo() {
```

```

    //Indice UV=0, color Verde.
    if (voltaje_DAVIS_6490 < 0.15) {
        digitalWrite(PIN_VERDE, HIGH);
        digitalWrite(PIN_AMARILLO, LOW);
    }
}

```

```

    digitalWrite(PIN_NARANJA, LOW);
    digitalWrite(PIN_ROJO, LOW);
    digitalWrite(PIN_MORADO, LOW);
    color = "Verde";
    uvi = 0;
}

//Indice UV=1, Color Verde
else if (voltaje_DAVIS_6490 >= 0.15 && voltaje_DAVIS_6490 < 0.30)
{
    digitalWrite(PIN_VERDE, HIGH);
    digitalWrite(PIN_AMARILLO, LOW);
    digitalWrite(PIN_NARANJA, LOW);
    digitalWrite(PIN_ROJO, LOW);
    digitalWrite(PIN_MORADO, LOW);
    color = "Verde";
    uvi = 1;
}

//Indice UV=2, Color Verde
else if (voltaje_DAVIS_6490 >= 0.30 && voltaje_DAVIS_6490 < 0.45)
{
    digitalWrite(PIN_VERDE, HIGH);
    digitalWrite(PIN_AMARILLO, LOW);
    digitalWrite(PIN_NARANJA, LOW);
    digitalWrite(PIN_ROJO, LOW);
    digitalWrite(PIN_MORADO, LOW);
    color = "Verde";
    uvi = 2;
}

//Indice UV=3, Color Amarillo
else if (voltaje_DAVIS_6490 >= 0.45 && voltaje_DAVIS_6490 < 0.60)
//Enciende el LED AMARILLO
{

```

```

    di gi tal Write(PIN_VERDE, LOW);
    di gi tal Write(PIN_AMARILLO, HIGH);
    di gi tal Write(PIN_NARANJA, LOW);
    di gi tal Write(PIN_ROJO, LOW);
    di gi tal Write(PIN_MORADO, LOW);
    color = "Amarillo";
    uvi = 3;
}

//Indice UV=4, Color Amarillo
else if (voltaje_DAVIS_6490 >= 0.60 && voltaje_DAVIS_6490 < 0.75)
//Enciende el LED AMARILLO
{
    di gi tal Write(PIN_VERDE, LOW);
    di gi tal Write(PIN_AMARILLO, HIGH);
    di gi tal Write(PIN_NARANJA, LOW);
    di gi tal Write(PIN_ROJO, LOW);
    di gi tal Write(PIN_MORADO, LOW);
    color = "Amarillo";
    uvi = 4;
}

//Indice UV=5, Color Amarillo
else if (voltaje_DAVIS_6490 >= 0.75 && voltaje_DAVIS_6490 < 0.90)
//Enciende el LED AMARILLO
{
    di gi tal Write(PIN_VERDE, LOW);
    di gi tal Write(PIN_AMARILLO, HIGH);
    di gi tal Write(PIN_NARANJA, LOW);
    di gi tal Write(PIN_ROJO, LOW);
    di gi tal Write(PIN_MORADO, LOW);
    color = "Amarillo";
    uvi = 5;
}

```

```

//Indice UV=6, Color Naranja
else if (voltaje_DAVIS_6490 >= 0.90 && voltaje_DAVIS_6490 < 1.05)
//Enciende el LED Naranja
{
    digitalWrite(PIN_VERDE, LOW);
    digitalWrite(PIN_AMARILLO, LOW);
    digitalWrite(PIN_NARANJA, HIGH);
    digitalWrite(PIN_ROJO, LOW);
    digitalWrite(PIN_MORADO, LOW);
    color = "Naranja";
    uvi = 6;
}

//Indice UV=7, Color Naranja
else if (voltaje_DAVIS_6490 >= 1.05 && voltaje_DAVIS_6490 < 1.20)
//Enciende el LED Naranja
{
    digitalWrite(PIN_VERDE, LOW);
    digitalWrite(PIN_AMARILLO, LOW);
    digitalWrite(PIN_NARANJA, HIGH);
    digitalWrite(PIN_ROJO, LOW);
    digitalWrite(PIN_MORADO, LOW);
    color = "Naranja";
    uvi = 7;
}

//Indice UV=8, Color Rojo
else if (voltaje_DAVIS_6490 >= 1.20 && voltaje_DAVIS_6490 < 1.35)
//Enciende el LED Rojo
{
    digitalWrite(PIN_VERDE, LOW);
    digitalWrite(PIN_AMARILLO, LOW);
    digitalWrite(PIN_NARANJA, LOW);
    digitalWrite(PIN_ROJO, HIGH);
    digitalWrite(PIN_MORADO, LOW);
    color = "Rojo";
}

```

```

    uvi = 8;
}

//Indice UV=9, Color Rojo
else if (voltaje_DAVIS_6490 >= 1.35 && voltaje_DAVIS_6490 < 1.50)
//Enciende el LED Rojo
{
    digitalWrite(PIN_VERDE, LOW);
    digitalWrite(PIN_AMARILLO, LOW);
    digitalWrite(PIN_NARANJA, LOW);
    digitalWrite(PIN_ROJO, HIGH);
    digitalWrite(PIN_MORADO, LOW);
    color = "Rojo";
    uvi = 9;
}

//Indice UV=10, Color Rojo
else if (voltaje_DAVIS_6490 >= 1.50 && voltaje_DAVIS_6490 < 1.65)
//Enciende el LED Rojo
{
    digitalWrite(PIN_VERDE, LOW);
    digitalWrite(PIN_AMARILLO, LOW);
    digitalWrite(PIN_NARANJA, LOW);
    digitalWrite(PIN_ROJO, HIGH);
    digitalWrite(PIN_MORADO, LOW);
    color = "Rojo";
    uvi = 10;
}

//Indice UV=11, Color Violeta
else if (voltaje_DAVIS_6490 >= 1.65 && voltaje_DAVIS_6490 < 1.80)
//Enciende el LED Violeta
{
    digitalWrite(PIN_VERDE, LOW);
    digitalWrite(PIN_AMARILLO, LOW);
    digitalWrite(PIN_NARANJA, LOW);

```

```

    digitalWrite(PIN_ROJO, LOW);
    blink(PIN_MORADO, 500);
    color = "Violeta";
    uvi = 11;
}

//Indice UV=12, Color Violeta
else if (voltaje_DAVIS_6490 >= 1.80 && voltaje_DAVIS_6490 < 1.95)
//Enciende el LED Violeta
{
    digitalWrite(PIN_VERDE, LOW);
    digitalWrite(PIN_AMARILLO, LOW);
    digitalWrite(PIN_NARANJA, LOW);
    digitalWrite(PIN_ROJO, LOW);
    blink(PIN_MORADO, 500);
    color = "Violeta";
    uvi = 12;
}

//Indice UV=13, Color Violeta
else if (voltaje_DAVIS_6490 >= 1.95 && voltaje_DAVIS_6490 < 2.10)
//Enciende el LED Violeta
{
    digitalWrite(PIN_VERDE, LOW);
    digitalWrite(PIN_AMARILLO, LOW);
    digitalWrite(PIN_NARANJA, LOW);
    digitalWrite(PIN_ROJO, LOW);
    blink(PIN_MORADO, 500);
    color = "Violeta";
    uvi = 13;
}

//Indice UV=14, Color Violeta
else if (voltaje_DAVIS_6490 >= 2.10 && voltaje_DAVIS_6490 < 2.25)
//Enciende el LED Violeta

```

```

{
    di gi tal Write(PIN_VERDE, LOW);
    di gi tal Write(PIN_AMARILLO, LOW);
    di gi tal Write(PIN_NARANJA, LOW);
    di gi tal Write(PIN_ROJO, LOW);
    blink(PIN_MORADO, 500);
    col or = "Vi ol eta";
    uvi = 14;
}

//Indice UV=15, Col or Vi ol eta
else if (vol taje_DAVIS_6490 >= 2.25 && vol taje_DAVIS_6490 < 2.40)
//Enciende el LED Vi ol eta
{
    di gi tal Write(PIN_VERDE, LOW);
    di gi tal Write(PIN_AMARILLO, LOW);
    di gi tal Write(PIN_NARANJA, LOW);
    di gi tal Write(PIN_ROJO, LOW);
    blink(PIN_MORADO, 500);
    col or = "Vi ol eta";
    uvi = 15;
}

//Indice UV=16, Col or Vi ol eta
else if (vol taje_DAVIS_6490 >= 2.40) //Enciende el LED Vi ol eta
{
    di gi tal Write(PIN_VERDE, LOW);
    di gi tal Write(PIN_AMARILLO, LOW);
    di gi tal Write(PIN_NARANJA, LOW);
    di gi tal Write(PIN_ROJO, LOW);
    blink(PIN_MORADO, 500);
    col or = "Vi ol eta";
    uvi = 16;
}
}

```



```

//Función para la lectura del sensor de temperatura y humedad relativa
void lectura_AM2301() {

    humedad = (int)dht.readHumidity();          //Se almacena la medición del
    sensor en la variable humedad

    delay(10);

    temperatura = (int)dht.readTemperature(); //Se almacena la medición del
    sensor en la variable temperatura

    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("Temperatura: ");
    lcd.print(temperatura);
    lcd.print((char)223); //Se imprime el símbolo de grado
    lcd.print("C  ");

    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("Hum. Relativa: ");
    lcd.print(humedad);
    lcd.print("%");

}

//Función para la presentación de los datos en los display 7 segmentos y lcd
void siete_segmentos() {

    DateTime now = rtc.now();

    if (now.hour() > 12)

    {
        sprintf(hora_fecha, "%02d:%02d:%02d %02d/%02d/%02d", now.hour() - 12,
        (int)now.minute(), (int)now.second(), (int)now.day(), (int)now.month(),
        (int)now.year() - 2000);

        sprintf(segmentos, "%02d%02d%2d%02d", temperatura, humedad, now.hour() -
        12, now.minute());
    }
}

```

```

    }
    else if (now.hour() == 0)
    {
        sprintf(hora_fecha, "%02d:%02d:%02d %02d/%02d/%02d", now.hour() + 12,
(int)now.minute(), (int)now.second(), (int)now.day(), (int)now.month(),
(int)now.year() - 2000);

        sprintf(segmentos, "%02d%02d%2d%02d", temperatura, humedad, now.hour() +
12, now.minute());
    }
    else
    {
        sprintf(hora_fecha, "%02d:%02d:%02d %02d/%02d/%02d", now.hour(),
(int)now.minute(), (int)now.second(), (int)now.day(), (int)now.month(),
(int)now.year() - 2000);

        sprintf(segmentos, "%02d%02d%2d%02d", temperatura, humedad, now.hour(),
now.minute());
    }

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(hora_fecha);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("UVI: ");
    lcd.print(uvi);
    lcd.print(" ");
    lcd.print((char)126); //Se imprime el símbolo de equivalencia
    lcd.print(color);
    lcd.print(" ");

    display.sendString(segmentos);

}

//Función para el envío de datos por el puerto serie
void comunicacion_serial ()
{

```

```
while (Serial.available() > 0 ) { //Mientras hayan datos en el puerto serie.
```

```
comando = Serial.read(); //Se lee la información del puerto serie.
```

```
if (comando == 'A') //Si el comando recibido fue una "A"  
{
```

```
  //delay(1);
```

```
  Serial.print(temperatura);
```

```
  Serial.print("\t");
```

```
  Serial.print(humedad);
```

```
  Serial.print("\t");
```

```
  Serial.print(uvi);
```

```
  Serial.println("\t");
```

```
}
```

```
if (comando == 'B') //Si el comando recibido fue una "B"
```

```
{
```

```
  //delay(1);
```

```
  Serial.print(temperatura);
```

```
  Serial.print("\t");
```

```
  Serial.print(humedad);
```

```
  Serial.print("\t");
```

```
  Serial.print(uvi);
```

```
  Serial.print("\t");
```

```
  Serial.print(color);
```

```
  Serial.println("\t");
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```

```

//Funcion para el parpadeo de los focos LED
void blink(int pin, unsigned long parpadeo) {

    if (millis() - previousMillis >= parpadeo) {
        // save the last time you blinked the LED
        previousMillis = currentMillis;

        // if the LED is off turn it on and vice-versa:
        if (ledState == LOW) {
            ledState = HIGH;
        } else {
            ledState = LOW;
        }

        // set the LED with the ledState of the variable:
        digitalWrite(pin, ledState);

    }
}

```

## **ANEXO H    DISEÑO DE LAS PCB**

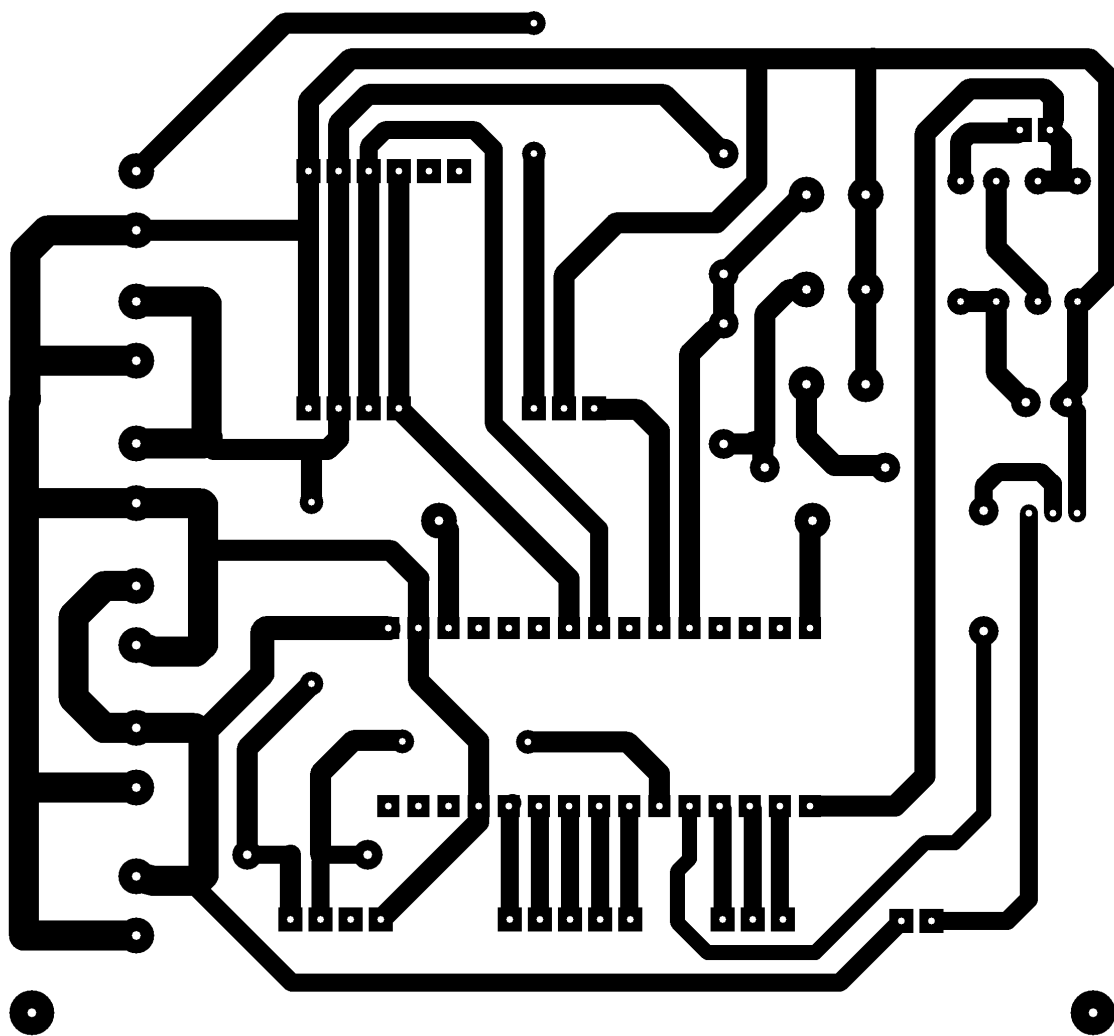


Figura Anexos H-1: PCB circuito de control general

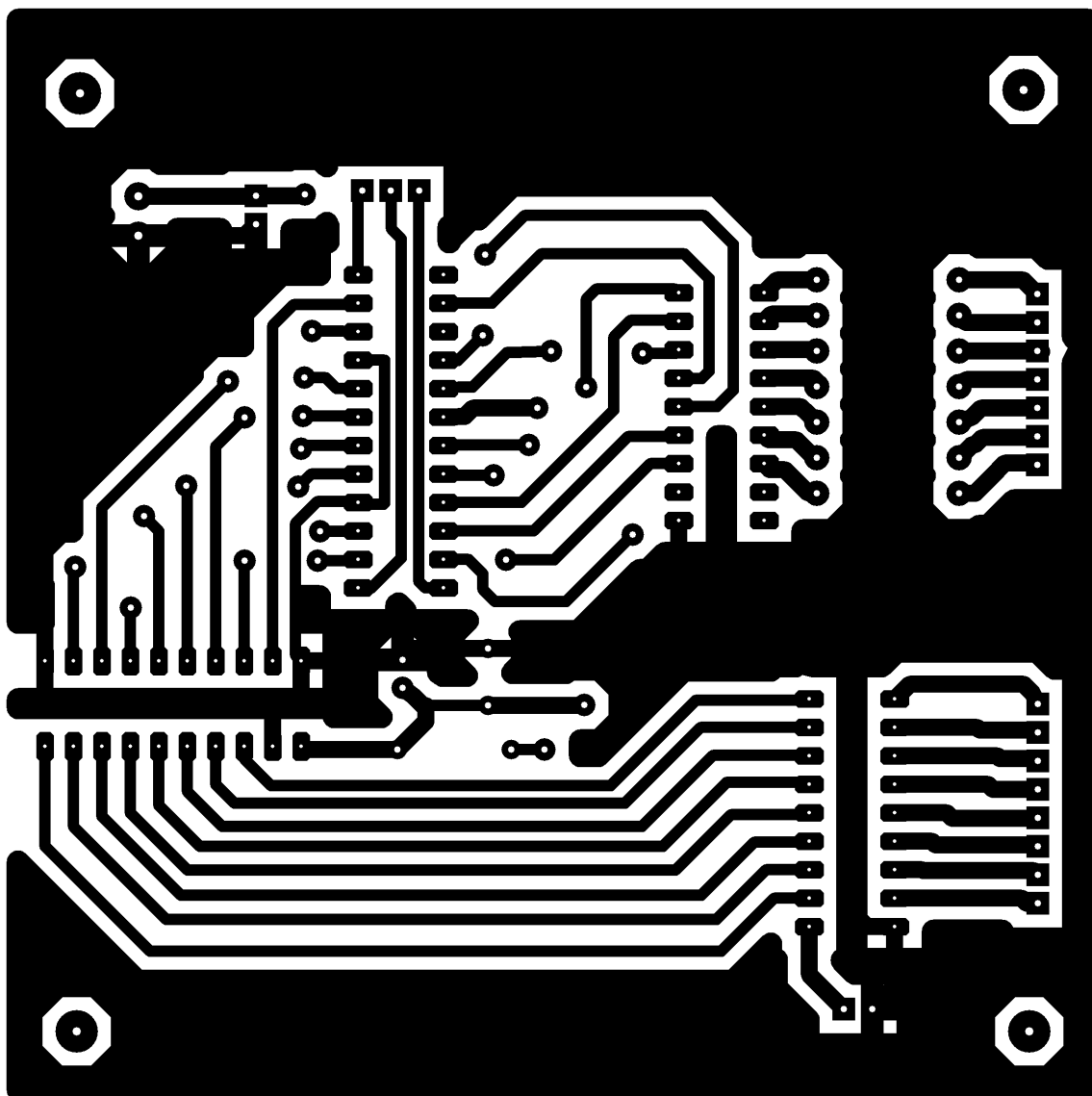


Figura Anexos H-2: PCB control de segmentos, cara inferior.

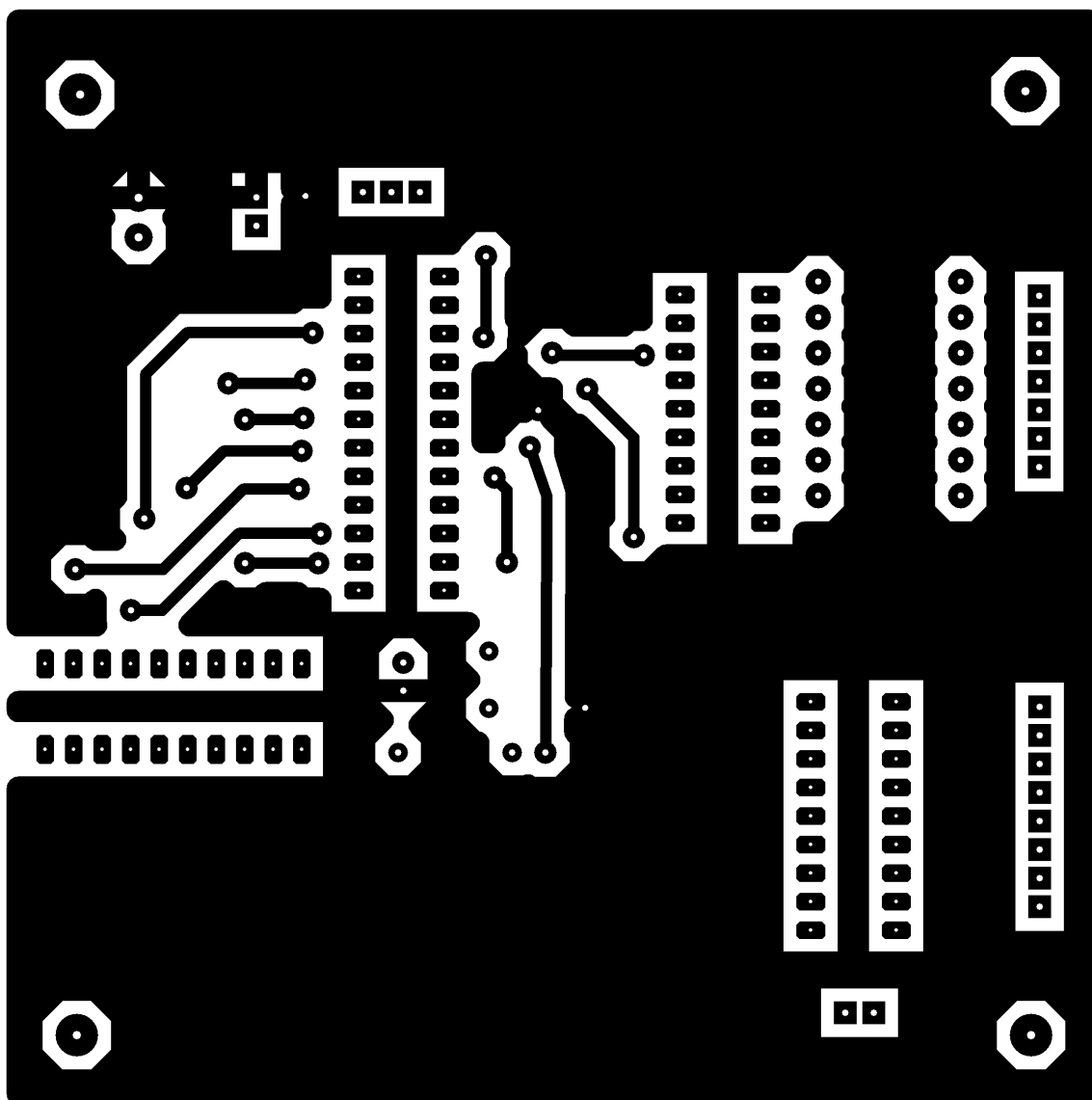


Figura Anexos H-3: PCB control de segmentos, cara superior.



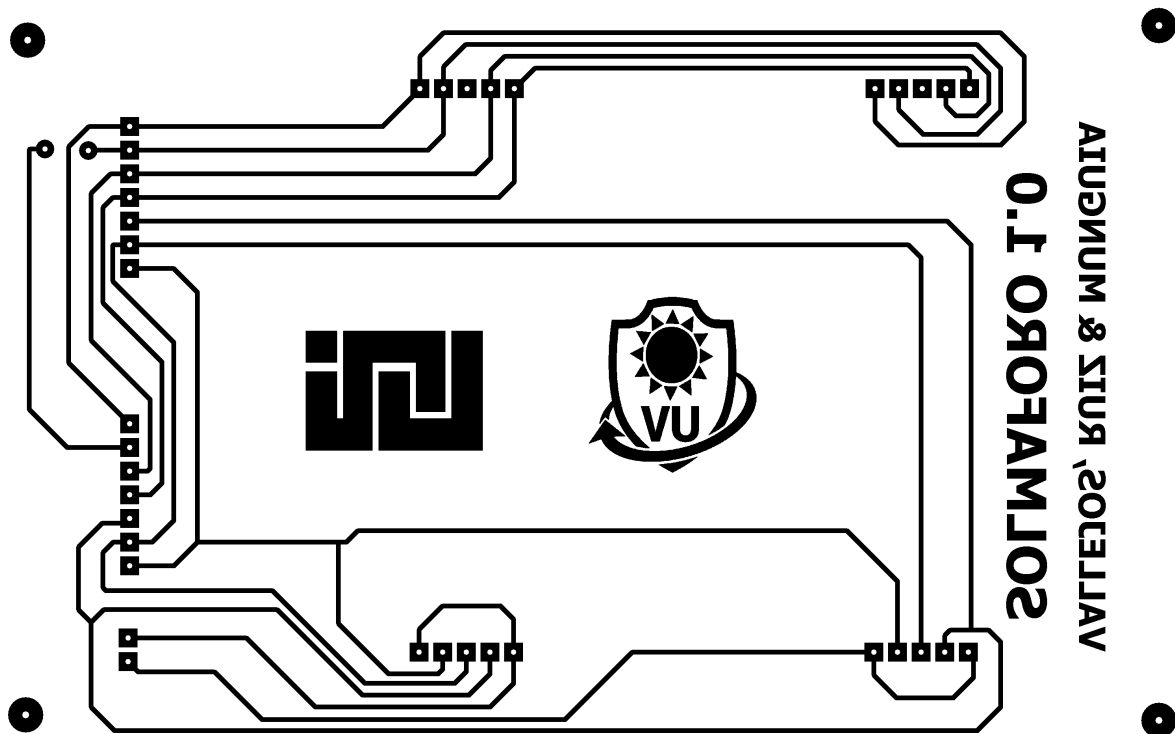


Figura Anexos H-5: PCB pantallas de 7 segmentos

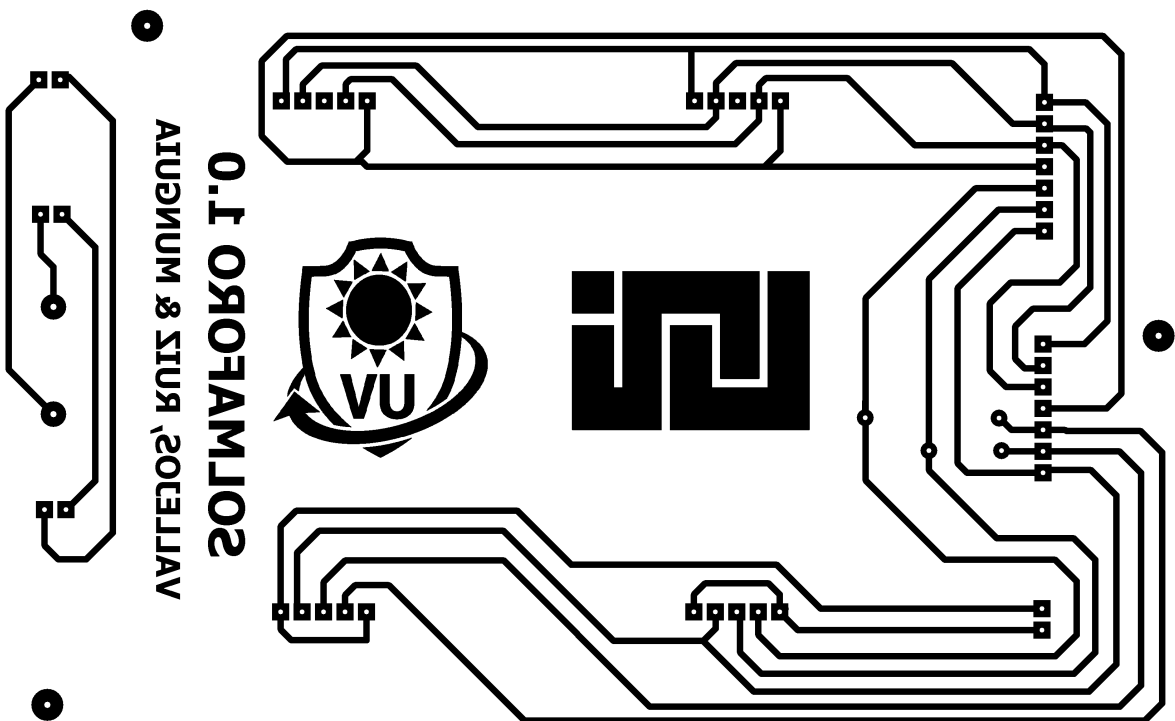


Figura Anexos H-4: PCB pantallas de 7 segmentos con LED para los segundos.

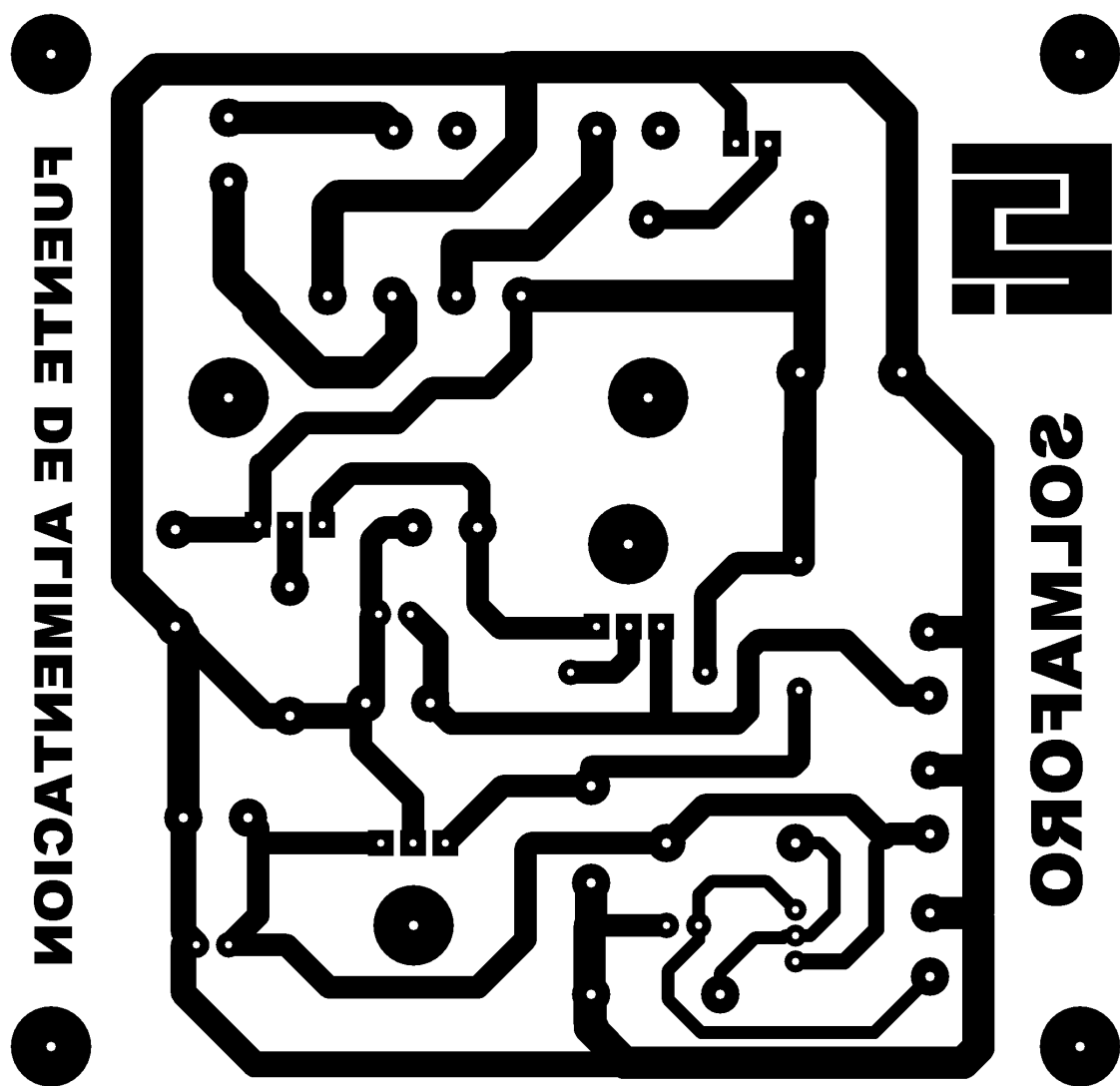


Figura Anexos H-6: PCB fuente de alimentación

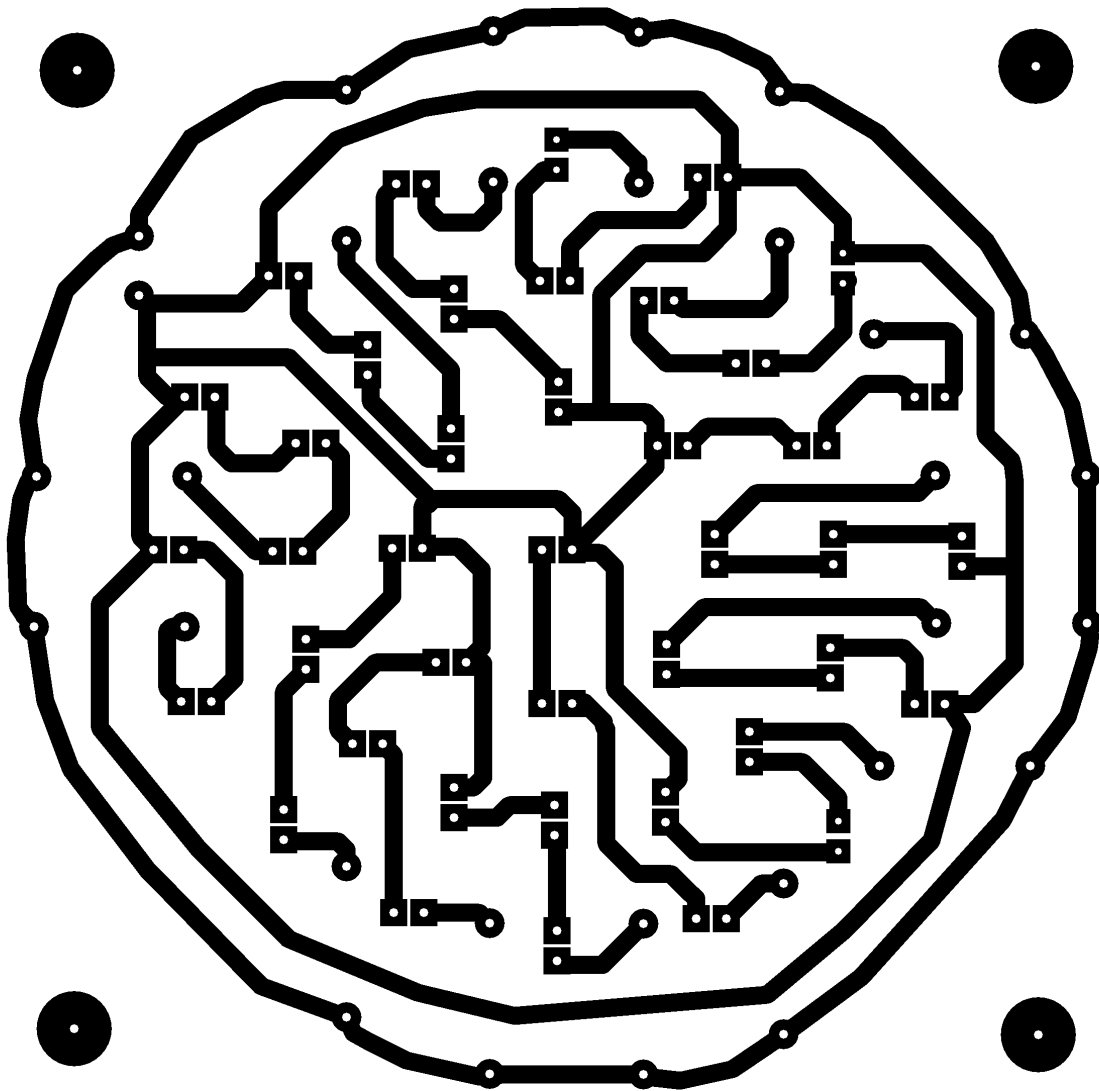


Figura Anexos H-7: PCB focos LED

## **ANEXO I    HOJAS DE DATOS DE COMPONENTES**



Vantage Pro2™ Accessories

The UV Sensor measures the sunburning portion of the UV spectrum. Its spectral response matches very closely the Erythema Action Spectrum (EAS), defined by McKinlay and Diffey (1987) and adopted by the Commission Internationale de l'Eclairage (C.I.E.) as the standard representation of the human skin's sensitivity to UV radiation. The sensor measures global solar UV irradiance, the sum of the components of solar UV transmitted directly and those scattered in the atmosphere. Scattered UV is a major portion of global irradiance.

The transducer is a semiconductor photodiode that responds only to radiation in the region of interest. The diffuser provides an excellent cosine response. With multiple hard-oxide coatings, the interference filter provides the Erythema Action spectral response. It is stable in the presence of heat and humidity. The outer shell shields the sensor from thermal radiation and provides a path for convection cooling of the body, minimizing heating of the sensor interior. It provides a cutoff ring with a comb structure for cosine response, a level indicator, and fins to aid in aligning the sensor with the sun's rays. Spring-loaded mounting screws, in conjunction with the level indicator, enable rapid and accurate levelling of the sensor. Each sensor is calibrated against a Yankee Environmental Systems' Ultraviolet Pyranometer, model UVB-1, in natural summer daylight.

The UV Sensor is optional on Vantage Pro2 weather stations. It is standard on the Vantage Pro2 Plus.

Please refer to the WeatherLink® for Vantage Pro2™ specification sheet for optional data logging and charting capabilities available for this product.

General

Operating Temperature	-40° to +150° F (-40° to +65° C)
Storage Temperature	-50° to +158°F (-45° to +70°C)
Transducer	Semiconductor photodiode
Spectral Response	280 to 360 nm (Erythema Action Spectrum)
Cosine Response	±4% FS (0° to 90° zenith angle)
Supplied Cable Length	2' (0.6 m)
Cable Type	4-conductor, 26 AWG
Connector	Modular RJ-11
I/O Specs	
Green wire	Output (0 to 2.5VDC); 150 mV per UV Index, 364 mV per MED/hour
Black & Red wires	Ground
Yellow wire	+3V ±10%, 2.4 mA
Housing Material	UV-resistant ABS plastic
Dimensions (length x width x height)	2" x 2.75" x 2.25" (51 mm x 70 mm x 57 mm)
Weight	0.5 lbs. (226 g)

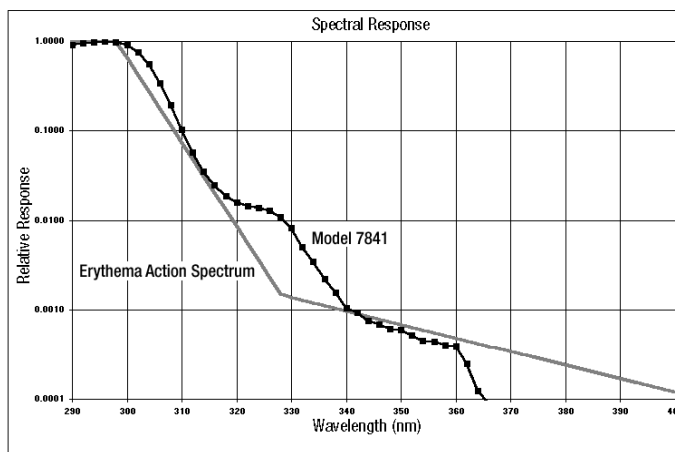
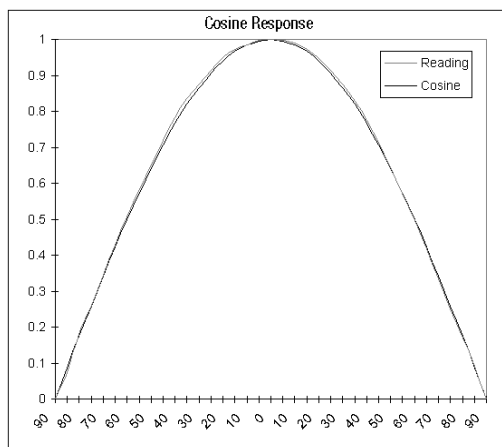
Sensor Output

Ultra Violet (UV) Radiation Dose	
Resolution and Units	0.1 MEDs to 19.9 MEDs; 1 MED above 19.9 MEDS
Range	0 to 199 MEDs
Accuracy	±5% of daily total
Drift	up to ±2% per year
Update Interval	50 seconds to 1 minute (5 minutes when dark)
Ultra Violet (UV) Radiation Index	
Resolution and Units	0.1 Index
Range	0 to 16 Index
Accuracy	±5% of full scale (Reference: Yankee UVB-1 at UV Index of 10 [extremely high]) plus 0.5 UV Index per 100' (30 m) of additional cable
Cosine Response	±4% FS (0° to 90° zenith angle)

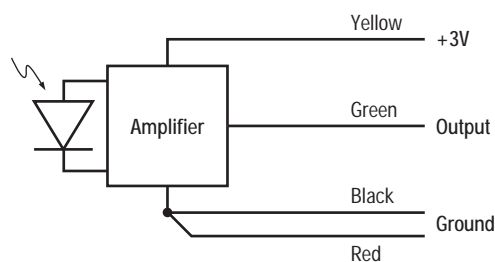
## Vantage Pro2™ Accessories

Update Interval ..... 50 seconds to 1 minute (5 minutes when dark)

### Cosine and Spectral Responses (typical)



### Connections



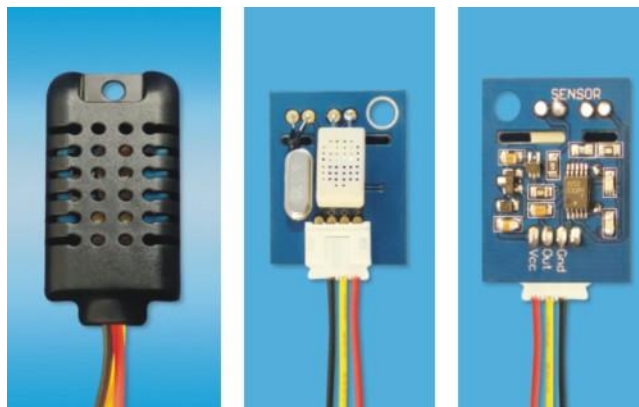
### Package Dimensions

Product #	Package Dimensions (Length x Width x Height)	Package Weight	UPC Codes
6490	6.00" x 4.25" x 3.25" (153 mm x 108 mm x 83 mm)	16 oz. (.5 kg)	011698 00243 6

# AOSONG

## Temperature and humidity module

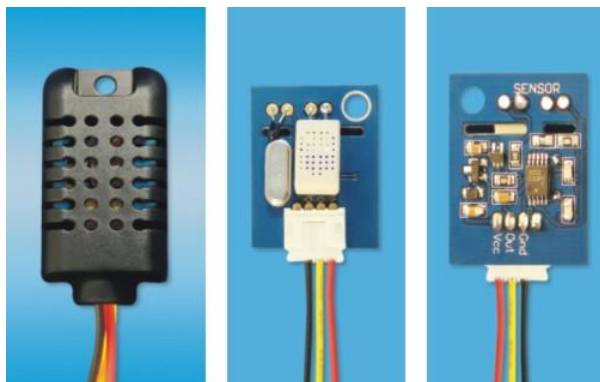
### AM2301 Product Manual



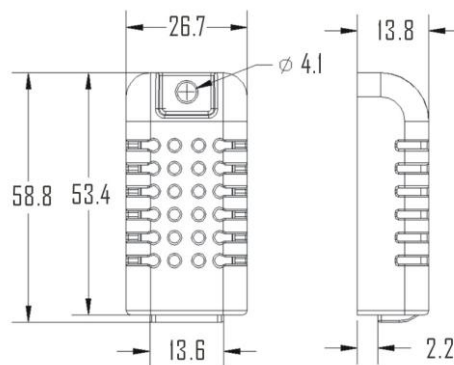
[www.aosong.com](http://www.aosong.com)

### 1、Product Overview

AM2301 capacitive humidity sensing digital temperature and humidity module is the one that contains the compound has been calibrated digital signal output of the temperature and humidity sensor. Application of a dedicated digital modules collection technology and the temperature and humidity sensing technology, to ensure that the product has high reliability and excellent long-term stability. The sensor includes a capacitive sensor wet components and a high-precision temperature measurement devices, and connected with a high-performance 8-bit microcontroller. The product has excellent quality, fast response, strong anti-jamming capability, and high cost. Each sensor is extremely accurate humidity calibration chamber calibration. The form of procedures, the calibration coefficients stored in the microcontroller, the sensor within the processing of the heartbeat to call these calibration coefficients. Standard single-bus interface, system integration quick and easy. Small size, low power consumption, signal transmission distance up to 20 meters, making it the best choice of all kinds of applications and even the most demanding applications. Products for the 3-lead (single-bus interface) connection convenience. Special packages according to user needs.



Physical map



Dimensions (unit: mm)

### 2、Applications

HVAC, dehumidifier, testing and inspection equipment, consumer goods, automotive, automatic control, data loggers, home appliances, humidity regulator, medical, weather stations, and other humidity measurement and control and so on.

### 3、Features

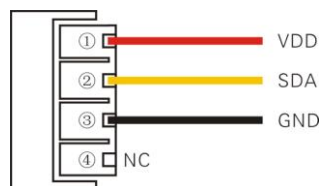
Ultra-low power, the transmission distance, fully automated calibration, the use of capacitive humidity sensor, completely interchangeable, standard digital single-bus output, excellent long-term stability, high accuracy temperature measurement devices.

### 4、The definition of single-bus interface

#### 4.1 AM2301 Pin assignments

Table 1: AM2301 Pin assignments

Pin	Color	Name	Description
1	Red	VDD	Power (3.3V-5.2V)
2	Yellow	SDA	Serial data, Dual-port
3	Black	GND	Ground
4		NC	Empty



PIC1: AM2301 Pin Assignment



#### 4.2 Power supply pins ( VDD GND )

AM2301 supply voltage range 3.3V – 5.2V, recommended supply voltage is 5V.

#### 4.3 Serial data ( SDA )

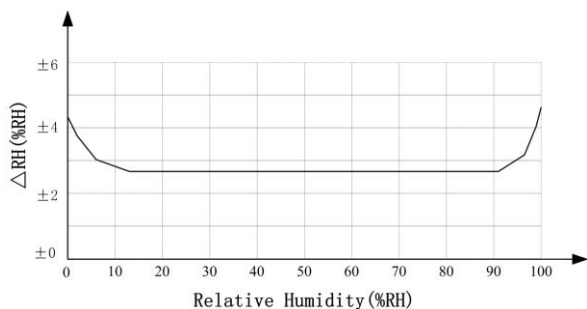
SDA pin is tri structure for reading, writing sensor data. Specific communication timing, see the detailed description of the communication protocol.

### 5、Sensor performance

#### 5.1 Relative humidity

**Table 2:** AM2301 Relative humidity performance table

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Resolution			0.1		%RH
Range		0		99.9	%RH
Accuracy <sup>[1]</sup>	25℃		± 3		%RH
Repeatability			± 1		%RH
Exchange	Completely interchangeable				
Response <sup>[2]</sup>	1/e(63%)		<6		S
Sluggish			± 0.3		%RH
Drift <sup>[3]</sup>	Typical		<0.5		%RH/yr

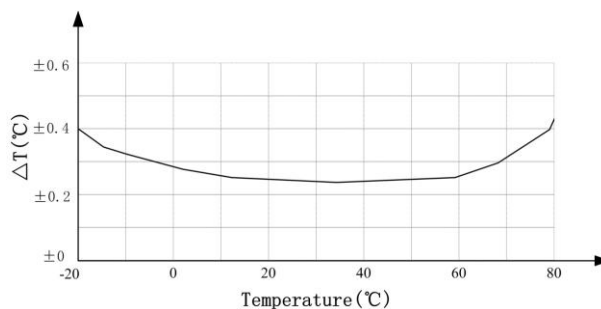


**Pic2:** At25℃ The error of relative humidity

#### 5.2 Temperature

**Table 3:** AM2301 Relative temperature performance

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Resolution			0.1		℃
			16		bit
Accuracy			± 0.3	± 1	℃
Range		-40		80	℃
Repeat			± 0.2		℃
Exchange	Completely interchangeable				
Response	1/e(63%)		<10		S
Drift			± 0.3		℃/yr



**Pic3:** The maximum temperature error

### 6、Electrical Characteristics

Electrical characteristics, such as energy consumption, high, low, input, output voltage, depending on the power supply. Table 4 details the electrical characteristics of the AM2301, if not identified, said supply voltage of 5V. To get the best results with the sensor, please design strictly in accordance with the conditions of design in Table 4.

Table 4: AM2301 DC Characteristics

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Voltage		3.3	5	5.2	V
Power consumption <sup>[4]</sup>	Dormancy	10	15		μA
	Measuring		500		μA
	Average		300		μA
Low level output voltage	I <sub>OL</sub> <sup>[5]</sup>	0		300	mV
High output voltage	R <sub>p</sub> <25 kΩ	90%		100%	VDD
Low input voltage	Decline	0		30%	VDD
Input High Voltage	Rise	70%		100%	VDD
R <sub>pu</sub> <sup>[6]</sup>	VDD = 5V VIN = VSS	30	45	60	kΩ
Output current	turn on		8		mA
	turn off	10	20		μA
Sampling period		2			S

[1] the accuracy of the factory inspection, the sensor 25 ° C and 5V, the accuracy specification of test conditions, it does not include hysteresis and nonlinearity, and is only suitable for non-condensing environment.

[2] to achieve an order of 63% of the time required under the conditions of 25 °C and 1m / s airflow.

[3] in the volatile organic compounds, the values may be higher. See the manual application to store information.

[4] this value at VDD = 5.0V when the temperature is 25 °C, 2S / time, under the conditions of the average.

[5] low output current.

[6] that the pull-up resistor.

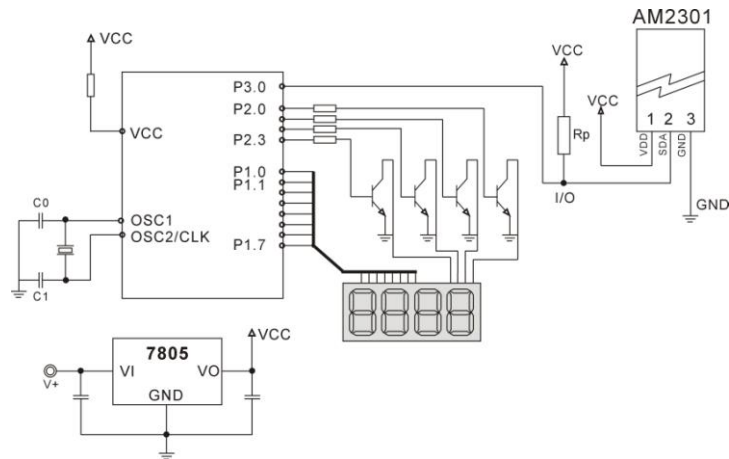
## 7、Single-bus communication ( ONE-WIRE )

### 7.1 Typical circuits for single bus

Microprocessor and AM2301 connection typical application circuit is shown in Figure 4. Single bus communication mode, pull the SDA microprocessor I / O port is connected.

#### Special instructions of the single-bus communication:

1. Typical application circuit recommended in the short cable length of 30 meters on the 5.1K pull-up resistor pullup resistor according to the actual situation of lower than 30 m.
2. With 3.3V supply voltage, cable length shall not be greater than 100cm. Otherwise, the line voltage drop will lead to the sensor power supply, resulting in measurement error.
3. Read the sensor minimum time interval for the 2S; read interval is less than 2S, may cause the temperature and humidity are not allowed or communication is unsuccessful, etc..
4. Temperature and humidity values are each read out the results of the last measurement For real-time data that need continuous read twice, we recommend repeatedly to read sensors, and each read sensor interval is greater than 2 seconds to obtain accuratethe data.



**Pic4:** AM2301 Typical circuits for single bus

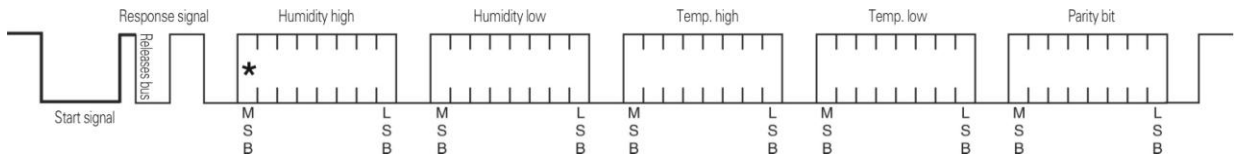
### 7.2、Single-bus communication protocol

#### ◎ Single bus Description

AM2301 device uses a simplified single-bus communication. Single bus that only one data line, data exchange system, controlled by the data line to complete. Equipment (microprocessor) through an open-drain or tri-state port connected to the data line to allow the device does not send data to release the bus, while other devices use the bus; single bus usually require an external about  $5.1k\Omega$  pull-up resistor, so when the bus is idle, its status is high. Because they are the master-slave structure, only the host calls the sensor, the sensor will answer, so the hosts to access the sensor must strictly follow the sequence of single bus, if there is a sequence of confusion, the sensor will not respond to the host.

#### ◎ Single bus to send data definition

SDA For communication and synchronization between the microprocessor and the AM2301, single-bus data format, a transmission of 40 data, the high first-out. Specific communication timing shown in Figure 5, the communication format is depicted in Table 5.



**Pic5:** AM2301 Single-bus communication protocol

Table 5: AM2301 Communication format specifier

Name	Single-bus format definition
Start signal	Microprocessor data bus (SDA) to bring down a period of time (at least 800μ s) [1] notify the sensor to prepare the data.
Response signal	Sensor data bus (SDA) is pulled down to 80μ s, followed by high-80μ s response to host the start signal.
Data format	Host the start signal is received, the sensor one-time string from the data bus (SDA) 40 data, the high first-out.
Humidity	Humidity resolution of 16Bit, the previous high; humidity sensor string value is 10 times the actual humidity values.
Temp.	Temperature resolution of 16Bit, the previous high; temperature sensor string value is 10 times the actual temperature value; The temperature is the highest bit (Bit15) is equal to 1 indicates a negative temperature, the temperature is the highest bit (Bit15) is equal to 0 indicates a positive temperature; Temperature in addition to the most significant bit (Bit14 ~ bit 0) temperature values.
Parity bit	Parity bit = humidity high + humidity low + temperature high + temperature low

#### ◎ Single-bus data calculation example

**Example 1:** 40 Data received:

<u>0000 0010</u>	<u>1001 0010</u>	<u>0000 0001</u>	<u>0000 1101</u>	<u>1010 0010</u>
High humidity 8	Low humidity 8	High temp. 8	Low temp. 8	Parity bit

**Calculate:**

0000 0010+1001 0010 +0000 0001+0000 1101= 1010 0010 ( Parity bit )

Received data is correct:

**humidity:** 0000 0010 1001 0010 = 0292H (Hexadecimal)=  $2 \times 256 + 9 \times 16 + 2 = 658$   
=> Humidity = 65.8%RH

**Temp.:** 0000 0001 0000 1101 = 10DH(Hexadecimal) =  $1 \times 256 + 0 \times 16 + 13 = 269$   
=> Temp.= 26.9℃

#### ◎ Special Instructions:

When the temperature is below 0 ℃, the highest position of the temperature data.

**Example:** -10.1 ℃ Expressed as 1 000 0000 0110 0101

**Temp.:** 0000 0000 0110 0101 = 0065H(Hexadecimal)=  $6 \times 16 + 5 = 101$   
=> Temp. = -10.1℃

**Example 2:** 40 received data:

<u>0000 0010</u>	<u>1001 0010</u>	<u>0000 0001</u>	<u>0000 1101</u>	<u>1011 0010</u>
High humidity 8	Low humidity 8	High temp. 8	Low temp. 8	Parity bit

**Calculate:**

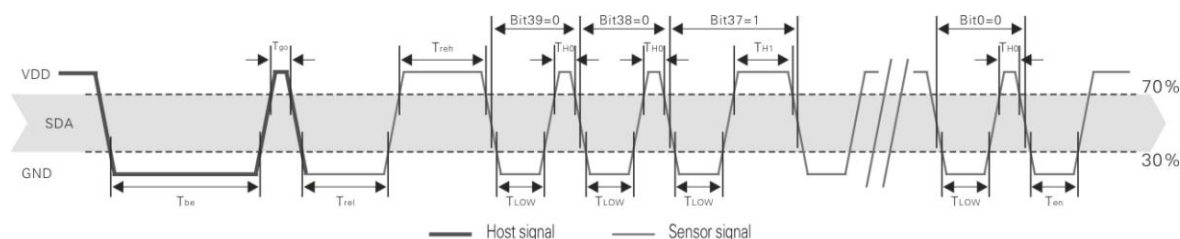
0000 0010+1001 0010 +0000 0001+0000 1101= 1010 0010  $\neq$  1011 0010 ( Validation error )

The received data is not correct, give up, to re-receive data.

### 7.3 Single-bus communication timing

User host (MCU) to send a start signal (data bus SDA line low for at least  $800\mu s$ ) after AM2301 from Sleep mode conversion to high-speed mode. The host began to signal the end of the AM2301 send a response signal sent from the data bus SDA serial 40Bit's data, sends the byte high; data sent is followed by: Humidity high、Humidity low、Temperature high、Temperature low、Parity bit，Send data to the end of trigger information collection, the collection end of the sensor is automatically transferred to the sleep mode, the advent until the next communication.

Detailed timing signal characteristics in Table 6, Single-bus communication timing diagram Pic 6:



**Pic 6:** AM2301 Single-bus communication timing

**Note:** the temperature and humidity data read by the host from the AM2301 is always the last measured value, such as the two measurement interval is very long, continuous read twice to the second value of real-time temperature and humidity values, while two readtake minimum time interval be 2S.

**Table 6:** Single bus signal characteristics

Symbol	Parameter	min	typ	max	Unit
$T_{be}$	Host the start signal down time	0.8	1	20	mS
$T_{go}$	Bus master has released time	20	30	200	$\mu S$
$T_{rel}$	Response to low time	75	80	85	$\mu S$
$T_{reh}$	In response to high time	75	80	85	$\mu S$
$T_{LOW}$	Signal "0", "1" low time	48	50	55	$\mu S$
$T_{H0}$	Signal "0" high time	22	26	30	$\mu S$
$T_{H1}$	Signal "1" high time	68	70	75	$\mu S$
$T_{cn}$	Sensor to release the bus time	45	50	55	$\mu S$

**Note:** To ensure the accurate communication of the sensor, the read signal, in strict accordance with the design parameters and timing in Table 6 and Figure 6.

### 7.4 Peripherals read step example

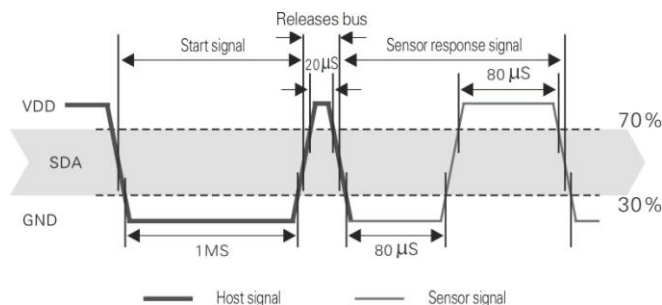
Communication between the host and the sensor can read data through the following three steps to complete.

#### Step 1

AM2301 have to wait for the power (on AM2301 power 2S crossed the unstable state, the device can not send any instructions to read during this period), the test environment temperature and humidity data, and record data, since the sensor into a sleep state automatically. AM2301 The SDA data line from the previous pull-up resistor pulled up is always high, the AM2301 the SDA pin is in input state, the time detection of external signal.

### Step 2

Microprocessor I/O set to output, while output low, and low hold time can not be less than 800us, typical values are down 1MS, then the microprocessor I/O is set to input state, the release of the bus, due to the pull-up resistor, the microprocessor I/O AM2301 the SDA data line also will be high, the bus master has released the AM2301 send a response signal, that is, the output 80 microseconds low as the response signal, tightthen output high of 80 microseconds notice peripheral is ready to receive data signal transmission as shown to Pic7 :



**Pic7:** Single bus decomposition of the timing diagram

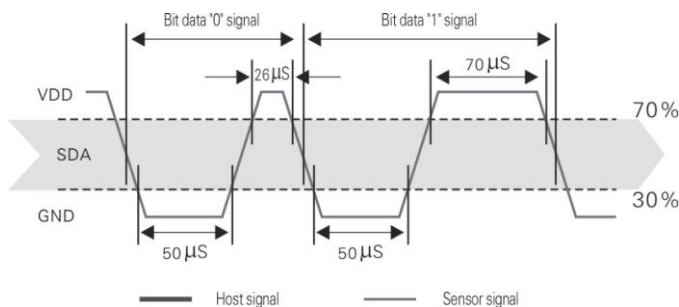
### Step 3

AM2301 sending the response, followed by the data bus SDA continuous serial output 40 data, the microprocessor receives 40 data I/O level changes.

Bit data "0" format: 26–28 microseconds 50 microseconds low plus high;

Bit data "1" format: the high level of low plus, 50 microseconds to 70 microseconds;

Bit data "0" bit data "1" format signal shown to pic 8:

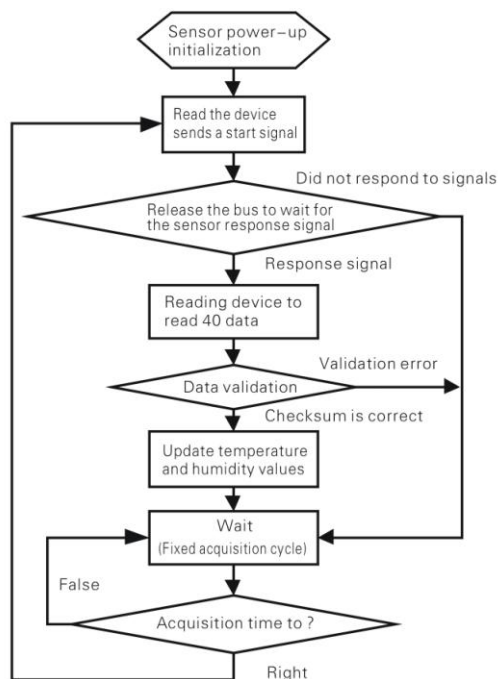


**Pic 8:** The single bus break down the timing diagram

AM2301 data bus SDA output 40 data continue to output the low 50 microseconds into the input state, followed by pull-up resistor goes high. AM2301 internal re-test environmental temperature and humidity data, and record the data, the end of the test records, the microcontroller automatically into hibernation. Microcontroller only after receipt of the start signal of the host wake-up sensor, into the working state.

### 7.5 Peripheral to read flow chart

AM2301 sensor read single bus flow chart diagram shown in Figure 9, we also provide the C51 read the code examples, customers need to download, please visit our website ([www.aosong.com](http://www.aosong.com)) related to downloadthis manual does not provide the code description.



**Pic9:** Single-bus to read the flow chart

## 8、Application of information

### 1. Work and storage conditions

Outside the sensor the proposed scope of work may lead to temporary drift of the signal up to 300%RH. Return to normal working conditions, sensor calibration status will slowly toward recovery. To speed up the recovery process may refer to "resume processing". Prolonged use of non-normal operating conditions, will accelerate the aging of the product.

Avoid placing the components on the long-term condensation and dry environment, as well as the following environment.

A, salt spray

B, acidic or oxidizing gases such as sulfur dioxide, hydrochloric acid

Recommended storage environment

Temperature: 10 ~ 40°C Humidity: 60%RH or less

### 2. The impact of exposure to chemicals

The capacitive humidity sensor has a layer by chemical vapor interference, the proliferation of chemicals in the sensing layer may lead to drift and decreased sensitivity of the measured values. In a pure environment, contaminants will slowly be released. Resume processing as described below will accelerate this process. The high concentration of chemical pollution (such as ethanol) will lead to the complete damage of the sensitive layer of the sensor.

### 3. The temperature influence

Relative humidity of the gas to a large extent dependent on temperature. Therefore, in the measurement of humidity,

should be to ensure that the work of the humidity sensor at the same temperature. With the release of heat of electronic components share a printed circuit board, the installation should be as far as possible the sensor away from the electronic components and mounted below the heat source, while maintaining good ventilation of the enclosure. To reduce the thermal conductivity sensor and printed circuit board copper plating should be the smallest possible, and leaving a gap between the two.

#### 4. Light impact

Prolonged exposure to sunlight or strong ultraviolet radiation, and degrade performance.

#### 5. Resume processing

Placed under extreme working conditions or chemical vapor sensor, which allows it to return to the status of calibration by the following handler. Maintain two hours in the humidity conditions of 45°C and <10% RH (dry); followed by 20–30°C and > 70%RH humidity conditions to maintain more than five hours.

#### 6. Wiring precautions

The quality of the signal wire will affect the quality of the voltage output, it is recommended to use high quality shielded cable.

#### 7. Welding information

Manual welding, in the maximum temperature of 300°C under the conditions of contact time shall be less than 3 seconds.

#### 8. Product upgrades

Details, please the consultation Aosong electronics department.

### 9、 The license agreement

Without the prior written permission of the copyright holder, shall not in any form or by any means, electronic or mechanical (including photocopying), copy any part of this manual, nor shall its contents be communicated to a third party. The contents are subject to change without notice.

The Company and third parties have ownership of the software, the user may use only signed a contract or software license.

### 10、 Warnings and personal injury

This product is not applied to the safety or emergency stop devices, as well as the failure of the product may result in injury to any other application, unless a particular purpose or use authorized. Installation, handling, use or maintenance of the product refer to product data sheets and application notes. Failure to comply with this recommendation may result in death and serious personal injury. The Company will bear all damages resulting personal injury or death, and waive any claims that the resulting subsidiary company managers and employees and agents, distributors, etc. that may arise, including: a variety of costs, compensation costs, attorneys' fees, and so on.



### 11、Quality Assurance

The company and its direct purchaser of the product quality guarantee period of three months (from the date of delivery). Publishes the technical specifications of the product data sheet shall prevail. Within the warranty period, the product was confirmed that the quality is really defective, the company will provide free repair or replacement. The user must satisfy the following conditions:

- ① The product is found defective within 14 days written notice to the Company;
- ② The product shall be paid by mail back to the company;
- ③ The product should be within the warranty period.

The Company is only responsible for those used in the occasion of the technical condition of the product defective product. Without any guarantee, warranty or written statement of its products used in special applications. Company for its products applied to the reliability of the product or circuit does not make any commitment.

---

## 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash

---

### DATASHEET

### Features

---

- High performance, low power AVR® 8-bit microcontroller
- Advanced RISC architecture
  - 131 powerful instructions – most single clock cycle execution
  - 32 × 8 general purpose working registers
  - Fully static operation
  - Up to 16MIPS throughput at 16MHz
  - On-chip 2-cycle multiplier
- High endurance non-volatile memory segments
  - 32K bytes of in-system self-programmable flash program memory
  - 1Kbytes EEPROM
  - 2Kbytes internal SRAM
  - Write/erase cycles: 10,000 flash/100,000 EEPROM
  - Optional boot code section with independent lock bits
    - In-system programming by on-chip boot program
    - True read-while-write operation
  - Programming lock for software security
- Peripheral features
  - Two 8-bit Timer/Counters with separate prescaler and compare mode
  - One 16-bit Timer/Counter with separate prescaler, compare mode, and capture mode
  - Real time counter with separate oscillator
  - Six PWM channels
  - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
    - Temperature measurement
  - Programmable serial USART
  - Master/slave SPI serial interface
  - Byte-oriented 2-wire serial interface (Phillips I<sup>2</sup>C compatible)
  - Programmable watchdog timer with separate on-chip oscillator
  - On-chip analog comparator
  - Interrupt and wake-up on pin change
- Special microcontroller features
  - Power-on reset and programmable brown-out detection
  - Internal calibrated oscillator
  - External and internal interrupt sources
  - Six sleep modes: Idle, ADC noise reduction, power-save, power-down, standby, and extended standby

- I/O and packages
  - 23 programmable I/O lines
  - 32-lead TQFP, and 32-pad QFN/MLF
- Operating voltage:
  - 2.7V to 5.5V for ATmega328P
- Temperature range:
  - Automotive temperature range:  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$
- Speed grade:
  - 0 to 8MHz at 2.7 to 5.5V (automotive temperature range:  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$ )
  - 0 to 16MHz at 4.5 to 5.5V (automotive temperature range:  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$ )
- Low power consumption
  - Active mode: 1.5mA at 3V - 4MHz
  - Power-down mode: 1 $\mu\text{A}$  at 3V

## Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

### General Description

The MAX7219/MAX7221 are compact, serial input/output common-cathode display drivers that interface microprocessors ( $\mu$ Ps) to 7-segment numeric LED displays of up to 8 digits, bar-graph displays, or 64 individual LEDs. Included on-chip are a BCD code-B decoder, multiplex scan circuitry, segment and digit drivers, and an 8x8 static RAM that stores each digit. Only one external resistor is required to set the segment current for all LEDs. The MAX7221 is compatible with SPI™, QSPI™, and MICROWIRE™, and has slew-rate-limited segment drivers to reduce EMI.

A convenient 4-wire serial interface connects to all common  $\mu$ Ps. Individual digits may be addressed and updated without rewriting the entire display. The MAX7219/MAX7221 also allow the user to select code-B decoding or no-decode for each digit.

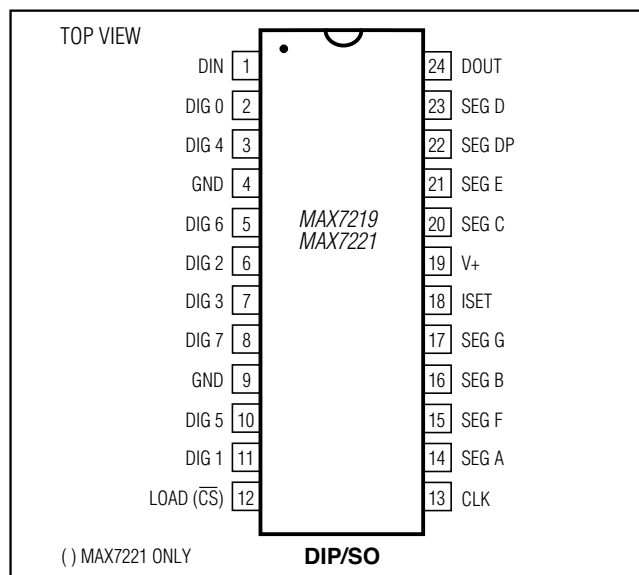
The devices include a 150 $\mu$ A low-power shutdown mode, analog and digital brightness control, a scan-limit register that allows the user to display from 1 to 8 digits, and a test mode that forces all LEDs on.

For applications requiring 3V operation or segment blinking, refer to the MAX6951 data sheet.

### Applications

Bar-Graph Displays	Panel Meters
Industrial Controllers	LED Matrix Displays

### Pin Configuration



SPI and QSPI are trademarks of Motorola Inc. MICROWIRE is a trademark of National Semiconductor Corp.

### Features

- ◆ 10MHz Serial Interface
- ◆ Individual LED Segment Control
- ◆ Decode/No-Decode Digit Selection
- ◆ 150 $\mu$ A Low-Power Shutdown (Data Retained)
- ◆ Digital and Analog Brightness Control
- ◆ Display Blanked on Power-Up
- ◆ Drive Common-Cathode LED Display
- ◆ Slew-Rate Limited Segment Drivers for Lower EMI (MAX7221)
- ◆ SPI, QSPI, MICROWIRE Serial Interface (MAX7221)
- ◆ 24-Pin DIP and SO Packages

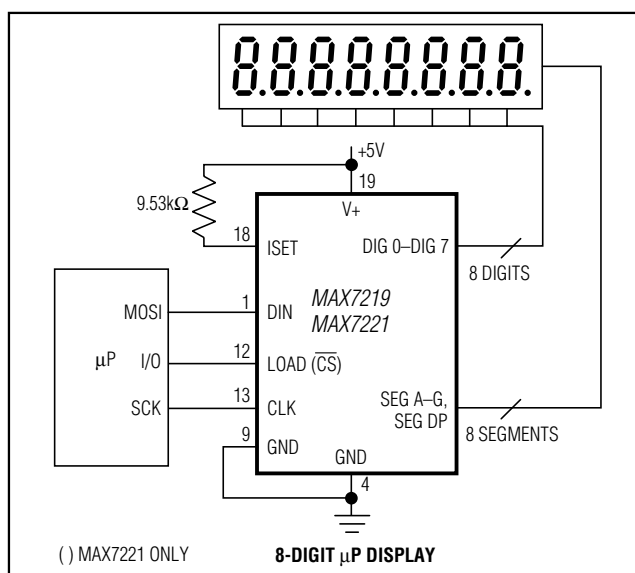
### Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX7219CNG	0°C to +70°C	24 Narrow Plastic DIP
MAX7219CWG	0°C to +70°C	24 Wide SO
MAX7219C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX7219ENG	-40°C to +85°C	24 Narrow Plastic DIP
MAX7219EWG	-40°C to +85°C	24 Wide SO
MAX7219ERG	-40°C to +85°C	24 Narrow Cerdip

Ordering Information continued at end of data sheet.

\*Dice are specified at  $T_A = +25^\circ\text{C}$ .

### Typical Application Circuit



# MAX7219/MAX7221

## Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Voltage (with respect to GND)

V+ .....-0.3V to 6V  
DIN, CLK, LOAD,  $\overline{CS}$  .....-0.3V to 6V  
All Other Pins .....-0.3V to (V+ + 0.3V)

Current

DIG 0–DIG 7 Sink Current .....500mA  
SEG A–G, DP Source Current .....100mA

Continuous Power Dissipation ( $T_A = +85^\circ\text{C}$ )

Narrow Plastic DIP (derate 13.3mW/ $^\circ\text{C}$   
above  $+70^\circ\text{C}$ ) .....1066mW  
Wide SO (derate 11.8mW/ $^\circ\text{C}$  above  $+70^\circ\text{C}$ ) .....941mW  
Narrow CERDIP (derate 12.5mW/ $^\circ\text{C}$  above  $+70^\circ\text{C}$ ) ...1000mW

Operating Temperature Ranges ( $T_{\text{MIN}}$  to  $T_{\text{MAX}}$ )

MAX7219C\_G/MAX7221C\_G ..... $0^\circ\text{C}$  to  $+70^\circ\text{C}$   
MAX7219E\_G/MAX7221E\_G ..... $-40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$   
Storage Temperature Range ..... $-65^\circ\text{C}$  to  $+160^\circ\text{C}$   
Lead Temperature (soldering, 10s) ..... $+300^\circ\text{C}$

Stresses beyond those listed under “Absolute Maximum Ratings” may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V+ = 5V  $\pm 10\%$ ,  $R_{\text{SET}} = 9.53\text{k}\Omega \pm 1\%$ ,  $T_A = T_{\text{MIN}}$  to  $T_{\text{MAX}}$ , unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Operating Supply Voltage	V+		4.0		5.5	V
Shutdown Supply Current	I+	All digital inputs at V+ or GND, $T_A = +25^\circ\text{C}$			150	$\mu\text{A}$
Operating Supply Current	I+	$R_{\text{SET}} = \text{open circuit}$			8	mA
		All segments and decimal point on, $I_{\text{SEG}_-} = -40\text{mA}$		330		
Display Scan Rate	fOSC	8 digits scanned	500	800	1300	Hz
Digit Drive Sink Current	I <sub>DIGIT</sub>	V+ = 5V, V <sub>OUT</sub> = 0.65V	320			mA
Segment Drive Source Current	I <sub>SEG</sub>	$T_A = +25^\circ\text{C}$ , V+ = 5V, V <sub>OUT</sub> = (V+ - 1V)	-30	-40	-45	mA
Segment Current Slew Rate (MAX7221 only)	$\Delta I_{\text{SEG}}/\Delta t$	$T_A = +25^\circ\text{C}$ , V+ = 5V, V <sub>OUT</sub> = (V+ - 1V)	10	20	50	mA/ $\mu\text{s}$
Segment Drive Current Matching	$\Delta I_{\text{SEG}}$			3.0		%
Digit Drive Leakage (MAX7221 only)	I <sub>DIGIT</sub>	Digit off, V <sub>DIGIT</sub> = V+			-10	$\mu\text{A}$
Segment Drive Leakage (MAX7221 only)	I <sub>SEG</sub>	Segment off, V <sub>SEG</sub> = 0V			1	$\mu\text{A}$
Digit Drive Source Current (MAX7219 only)	I <sub>DIGIT</sub>	Digit off, V <sub>DIGIT</sub> = (V+ - 0.3V)	-2			mA
Segment Drive Sink Current (MAX7219 only)	I <sub>SEG</sub>	Segment off, V <sub>SEG</sub> = 0.3V	5			mA

# MAX7219/MAX7221

## Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(V<sub>+</sub> = 5V ±10%, R<sub>SET</sub> = 9.53kΩ ±1%, T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>LOGIC INPUTS</b>						
Input Current DIN, CLK, LOAD, $\overline{\text{CS}}$	I <sub>IH</sub> , I <sub>IL</sub>	V <sub>IN</sub> = 0V or V <sub>+</sub>	-1		1	μA
Logic High Input Voltage	V <sub>IH</sub>		3.5			V
Logic Low Input Voltage	V <sub>IL</sub>				0.8	V
Output High Voltage	V <sub>OH</sub>	DOUT, I <sub>SOURCE</sub> = -1mA	V <sub>+</sub> - 1			V
Output Low Voltage	V <sub>OL</sub>	DOUT, I <sub>SINK</sub> = 1.6mA			0.4	V
Hysteresis Voltage	ΔV <sub>I</sub>	DIN, CLK, LOAD, $\overline{\text{CS}}$		1		V
<b>TIMING CHARACTERISTICS</b>						
CLK Clock Period	t <sub>CP</sub>		100			ns
CLK Pulse Width High	t <sub>CH</sub>		50			ns
CLK Pulse Width Low	t <sub>CL</sub>		50			ns
$\overline{\text{CS}}$ Fall to SCLK Rise Setup Time (MAX7221 only)	t <sub>CSS</sub>		25			ns
CLK Rise to $\overline{\text{CS}}$ or LOAD Rise Hold Time	t <sub>CSH</sub>		0			ns
DIN Setup Time	t <sub>DS</sub>		25			ns
DIN Hold Time	t <sub>DH</sub>		0			ns
Output Data Propagation Delay	t <sub>DO</sub>	C <sub>LOAD</sub> = 50pF			25	ns
Load-Rising Edge to Next Clock Rising Edge (MAX7219 only)	t <sub>LDCK</sub>		50			ns
Minimum $\overline{\text{CS}}$ or LOAD Pulse High	t <sub>CSW</sub>		50			ns
Data-to-Segment Delay	t <sub>DSPD</sub>				2.25	ms

# MAX7219/MAX7221

## Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

If the scan-limit register is set for three digits or less, individual digit drivers will dissipate excessive amounts of power. Consequently, the value of the RSET resistor must be adjusted according to the number of digits displayed, to limit individual digit driver power dissipation. Table 9 lists the number of digits displayed and the corresponding maximum recommended segment current when the digit drivers are used.

### Display-Test Register

The display-test register operates in two modes: normal and display test. Display-test mode turns all LEDs on by overriding, but not altering, all controls and digit registers (including the shutdown register). In display-test mode, 8 digits are scanned and the duty cycle is 31/32 (15/16 for MAX7221). Table 10 lists the display-test register format.

**Table 9. Maximum Segment Current for 1-, 2-, or 3-Digit Displays**

NUMBER OF DIGITS DISPLAYED	MAXIMUM SEGMENT CURRENT (mA)
1	10
2	20
3	30

**Table 10. Display-Test Register Format (Address (Hex) = 0xXF)**

MODE	REGISTER DATA							
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Normal Operation	X	X	X	X	X	X	X	0
Display Test Mode	X	X	X	X	X	X	X	1

**Note:** The MAX7219/MAX7221 remain in display-test mode (all LEDs on) until the display-test register is reconfigured for normal operation.

### No-Op Register

The no-op register is used when cascading MAX7219s or MAX7221s. Connect all devices' LOAD/CS inputs together and connect DOUT to DIN on adjacent devices. DOUT is a CMOS logic-level output that easily drives DIN of successively cascaded parts. (Refer to the *Serial Addressing Modes* section for detailed information on serial input/output timing.) For example, if four MAX7219s are cascaded, then to write to the

fourth chip, sent the desired 16-bit word, followed by three no-op codes (hex 0xXX0X, see Table 2). When LOAD/CS goes high, data is latched in all devices. The first three chips receive no-op commands, and the fourth receives the intended data.

## Applications Information

### Supply Bypassing and Wiring

To minimize power-supply ripple due to the peak digit driver currents, connect a 10μF electrolytic and a 0.1μF ceramic capacitor between V+ and GND as close to the device as possible. The MAX7219/MAX7221 should be placed in close proximity to the LED display, and connections should be kept as short as possible to minimize the effects of wiring inductance and electromagnetic interference. Also, both GND pins must be connected to ground.

### Selecting RSET Resistor and Using External Drivers

The current per segment is approximately 100 times the current in ISET. To select RSET, see Table 11. The MAX7219/MAX7221's maximum recommended segment current is 40mA. For segment current levels above these levels, external digit drivers will be needed. In this application, the MAX7219/MAX7221 serve only as controllers for other high-current drivers or transistors. Therefore, to conserve power, use RSET = 47kΩ when using external current sources as segment drivers.

The example in Figure 2 uses the MAX7219/MAX7221's segment drivers, a MAX394 single-pole double-throw analog switch, and external transistors to drive 2.3" AND2307SLC common-cathode displays. The 5.6V zener diode has been added in series with the decimal point LED because the decimal point LED forward voltage is typically 4.2V. For all other segments the LED forward voltage is typically 8V. Since external transistors are used to sink current (DIG 0 and DIG 1 are used as logic switches), peak segment currents of 45mA are allowed even though only two digits are displayed. In applications where the MAX7219/MAX7221's digit drivers are used to sink current and fewer than four digits are displayed, Table 9 specifies the maximum allowable segment current. RSET must be selected accordingly (Table 11).

Refer to the *Continuous Power Dissipation* section of the *Absolute Maximum Ratings* to calculate acceptable limits for ambient temperature, segment current, and the LED forward-voltage drop.

# MAX7219/MAX7221

## Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers

**Table 11. RSET vs. Segment Current and LED Forward Voltage**

ISEG (mA)	VLED (V)				
	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
40	12.2	11.8	11.0	10.6	9.69
30	17.8	17.1	15.8	15.0	14.0
20	29.8	28.0	25.9	24.5	22.6
10	66.7	63.7	59.3	55.4	51.2

**Table 12. Package Thermal Resistance Data**

PACKAGE	THERMAL RESISTANCE (θJA)
24 Narrow DIP	+75°C/W
24 Wide SO	+85°C/W
24 Cerdip	+80°C/W
Maximum Junction Temperature (TJ) = +150°C	
Maximum Ambient Temperature (TA) = +85°C	

### Computing Power Dissipation

The upper limit for power dissipation (PD) for the MAX7219/MAX7221 is determined from the following equation:

$$PD = (V+ \times 8mA) + (V+ - V_{LED})(DUTY \times I_{SEG} \times N)$$

where:

V+ = supply voltage

DUTY = duty cycle set by intensity register

N = number of segments driven (worst case is 8)

VLED = LED forward voltage

ISEG = segment current set by RSET

Dissipation example:

ISEG = 40mA, N = 8, DUTY = 31/32, VLED = 1.8V at 40mA, V+ = 5.25V

$$PD = (5.25V \times 8mA) + (5.25V - 1.8V)(31/32 \times 40mA \times 8) = 1.11W$$

Thus, for a Cerdip package (θJA = +80°C/W from Table 12), the maximum allowed ambient temperature TA is given by:

$$TJ(MAX) = TA + PD \times \theta_{JA}$$

$$150^{\circ}C = TA + 1.11W \times 80^{\circ}C/W$$

where TA = +61.2°C.

The TA limits for PDIP and SO packages in the dissipation example above are +66.7°C and +55.6°C, respectively.

### Cascading Drivers

The example in Figure 3 drives 16 digits using a 3-wire μP interface. If the number of digits is not a multiple of 8, set both drivers' scan limits registers to the same number so one display will not appear brighter than the other. For example, if 12 digits are need, use 6 digits per display with both scan-limit registers set for 6 digits so that both displays have a 1/6 duty cycle per digit. If 11 digits are needed, set both scan-limit registers for 6 digits and leave one digit driver unconnected. If one display for 6 digits and the other for 5 digits, the second display will appear brighter because its duty cycle per digit will be 1/5 while the first display's will be 1/6. Refer to the *No-Op Register* section for additional information.



## ***Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers***

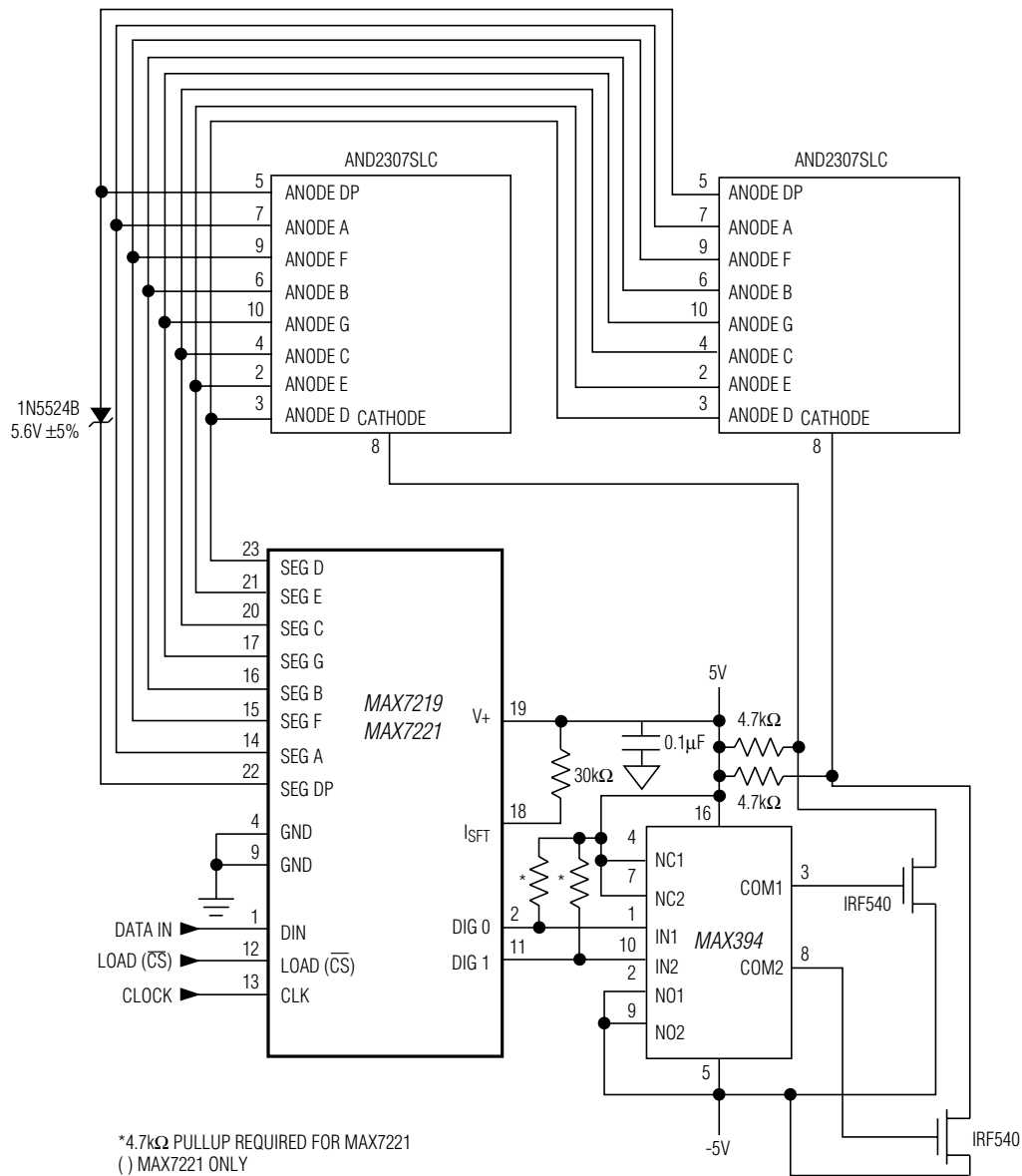


Figure 2. MAX7219/MAX7221 Driving 2.3in Displays

## ***Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers***

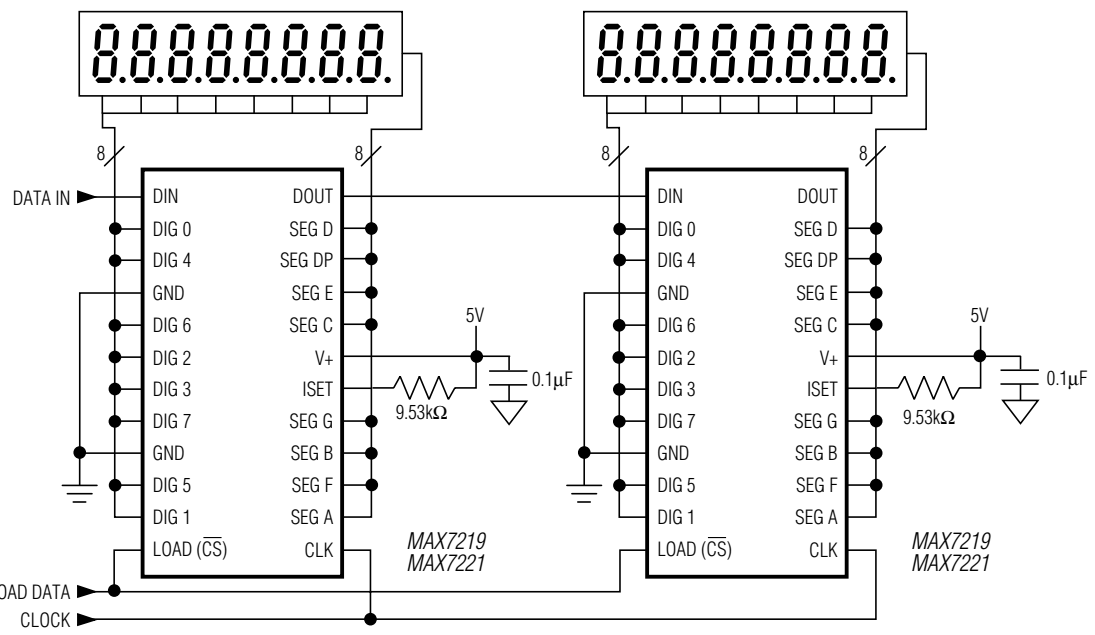


Figure 3. Cascading MAX7219/MAX7221s to Drive 16 Seven-Segment LED Digits

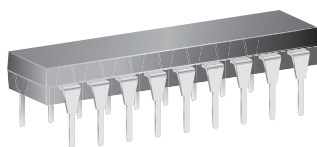
## 8-Channel Source Drivers

### Features and Benefits

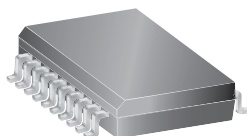
- TTL, DTL, PMOS, or CMOS compatible inputs
- 500 mA output source current capability
- Transient-protected outputs
- Output breakdown voltage to 50 V
- DIP or SOIC packaging

### Packages:

*Not to scale*



18-pin DIP (Package A)



20-pin SOICW (package LW)  
(drop-in replacement for discontinued 18-pin SOIC variants)

### Description

Recommended for high-side switching applications that benefit from separate logic and load grounds, these devices encompass load supply voltages to 50 V and output currents to -500 mA. These 8-channel source drivers are useful for interfacing between low-level logic and high-current loads. Typical loads include relays, solenoids, lamps, stepper and/or servo motors, print hammers, and LEDs.

All devices may be used with 5 V logic systems—TTL, Schottky TTL, DTL, and 5 V CMOS. The device packages offered are electrically interchangeable, and will withstand a maximum output off voltage of 50 V, and operate to a minimum of 5 V. All devices in this series integrate input current limiting resistors and output transient suppression diodes, and are activated by an active high input.

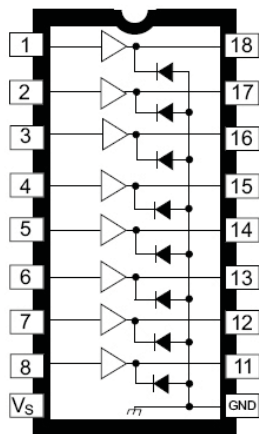
The suffix “A” indicates an 18-lead plastic dual in-line package with copper lead frame for optimum power dissipation. Under normal operating conditions, these devices will sustain 120 mA continuously for each of the eight outputs at an ambient temperature of +50°C and a supply of 15 V.

The suffix “LW” package is provided in a 20-pin wide-body SOIC package with improved thermal characteristics compared to the 18-pin SOIC version it replaces (100% pin-compatible electrically). The A2982ELW driver is available for operation over an extended temperature range, down to -40°C.

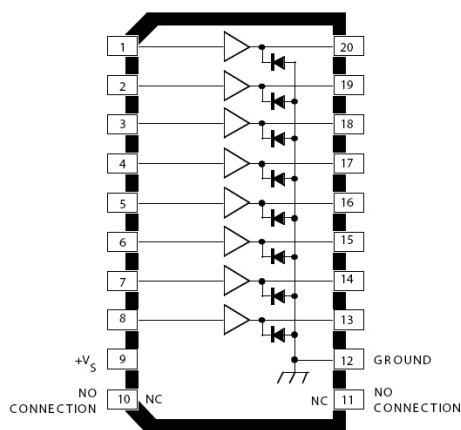
These packages are lead (Pb) free, with 100% matte-tin leadframe plating.

### Simplified Block Diagrams

18-pin DIP (A Package)



20-pin SOICW (LW Package)



(NC pins, 10 and 11, not present on discontinued 18-pin LW package)

## Selection Guide

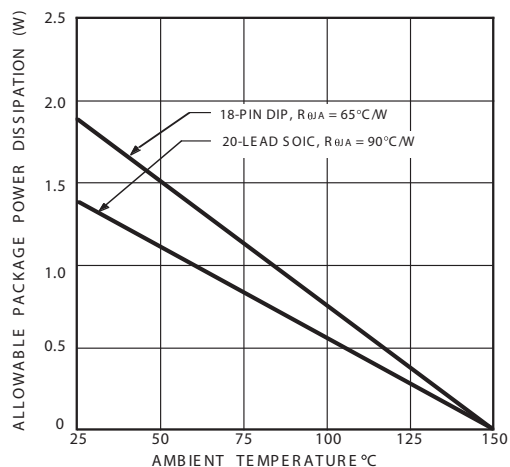
Part Number	Package	Packing	Ambient Temperature $T_A$ (°C)
A2982ELWTR-T <sup>1</sup>	20-pin SOICW	1000 per reel	–40 to 85
A2982SLWTR-T	20-pin SOICW	1000 per reel	–20 to 85
UDN2981A-T <sup>2</sup>	18-pin DIP	21 per tube	
UDN2982A-T <sup>2</sup>	18-pin DIP	21 per tube	

<sup>1</sup>Variant is in production but has been determined to be LAST TIME BUY. This classification indicates that the variant is obsolete and notice has been given. Sale of the variant is currently restricted to existing customer applications. The variant should not be purchased for new design applications because of obsolescence in the near future. Samples are no longer available. Status date change November 2, 2009. Deadline for receipt of LAST TIME BUY orders is April 30, 2010.

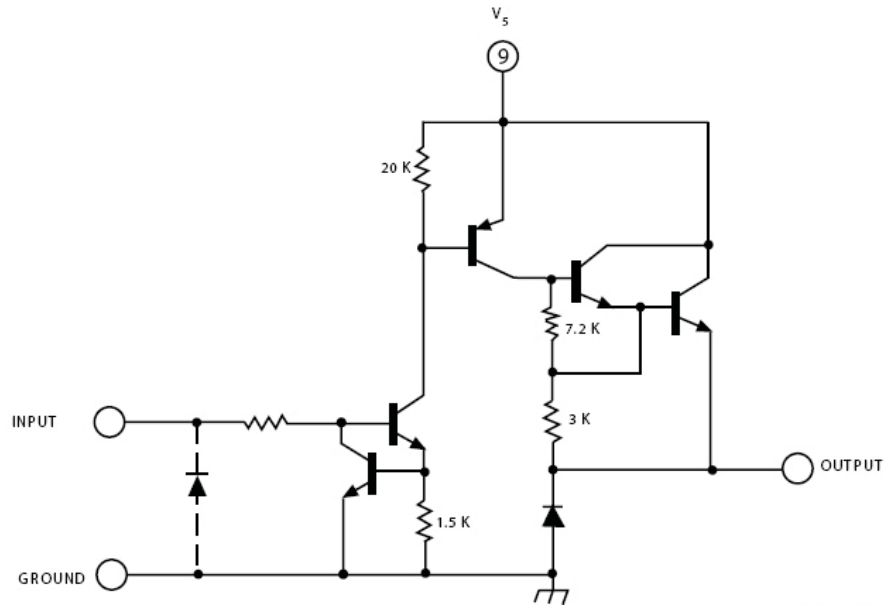
<sup>2</sup>Variant is in production but has been determined to be LAST TIME BUY. This classification indicates that the variant is obsolete and notice has been given. Sale of the variant is currently restricted to existing customer applications. The variant should not be purchased for new design applications because of obsolescence in the near future. Samples are no longer available. Status date change January 30, 2012. Deadline for receipt of LAST TIME BUY orders is April 27, 2012.

## Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Output Voltage Range	$V_{CE}$		5 to 50	V
Input Voltage	$V_{IN}$	UDN2981	20	V
		A2982, UDN2982	20	V
Output Current	$I_{OUT}$		–500	mA
Package Power Dissipation	$P_D$	See graph	–	–
Operating Ambient Temperature	$T_A$	Range E	–40 to 85	°C
		Range S	–20 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	$T_{J(max)}$		150	°C
Storage Temperature	$T_{stg}$		–55 to 150	°C



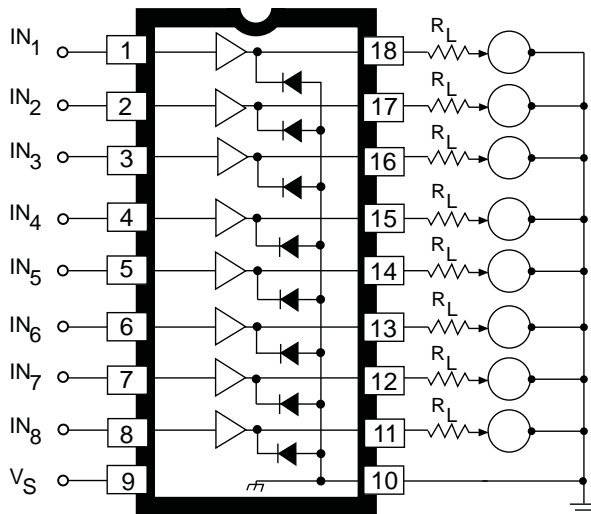
One of Eight Drivers



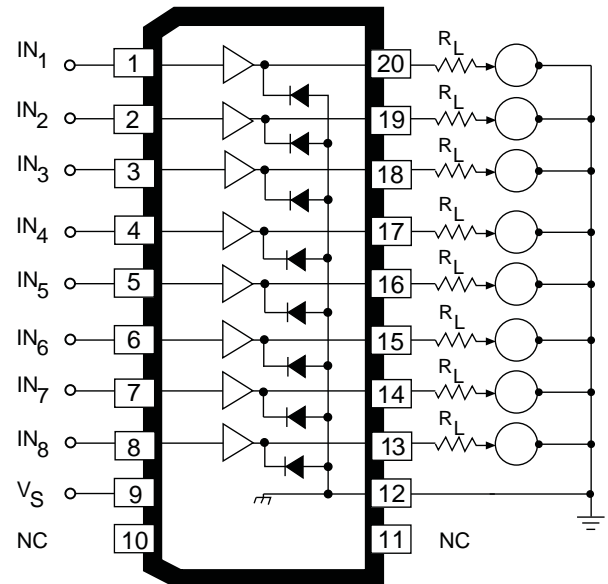
Dwg. No. A-10,242USA

Typical electrosensitive  
printer application

18-pin DIP (A Package)



20-pin SOICW (LW Package)



Pins 10 and 11 can float; other pins  
match discontinued 18-pin SOIC: 1 to 9  
same, pins 12 to 20 match pins 10 to 18

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS<sup>1,2</sup> at  $T_A = +25^\circ\text{C}$  (unless otherwise specified).**

Characteristic	Symbol	Variant	Test Conditions	Test Fig.	Min.	Typ.	Max.	Units
Output Leakage Current <sup>3</sup>	$I_{CEX}$	All	$V_{IN} = 0.4\text{ V}$ , $V_S = 50\text{ V}$	1	—	—	20	$\mu\text{A}$
Output Sustaining Voltage	$V_{CE(SUS)}$	All	$I_{OUT} = -45\text{ mA}$	—	35	—	—	V
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	All	$V_{IN} = 2.4\text{ V}$ , $I_{OUT} = -100\text{ mA}$	2	—	1.6	1.8	V
			$V_{IN} = 2.4\text{ V}$ , $I_{OUT} = -225\text{ mA}$	2	—	1.7	1.9	V
			$V_{IN} = 2.4\text{ V}$ , $I_{OUT} = -350\text{ mA}$	2	—	1.8	2.0	V
Input Current	$I_{IN(ON)}$	2981	$V_{IN} = 2.4\text{ V}$	3	—	140	200	$\mu\text{A}$
			$V_{IN} = 3.85\text{ V}$	3	—	310	450	$\mu\text{A}$
		2982	$V_{IN} = 2.4\text{ V}$	3	—	140	200	$\mu\text{A}$
			$V_{IN} = 12\text{ V}$	3	—	1.25	1.93	mA
Output Source Current (Outputs Open)	$I_{OUT}$	2981	$V_{IN} = 2.4\text{ V}$ , $V_{CE} = 2.0\text{ V}$	2	-350	—	—	mA
		2982	$V_{IN} = 2.4\text{ V}$ , $V_{CE} = 2.0\text{ V}$	2	-350	—	—	mA
Supply Current Leakage Current	$I_S$	All	$V_{IN} = 2.4\text{ V}^*$ , $V_S = 50\text{ V}$	4	—	—	10	mA
Clamp Diode Current	$I_R$	All	$V_R = 50\text{ V}$ , $V_{IN} = 0.4\text{ V}^*$	5	—	—	50	$\mu\text{A}$
Clamp Diode Forward Voltage	$V_F$	All	$I_F = 350\text{ mA}$	6	—	1.5	2.0	V
Turn-On Delay	$t_{ON}$	All	$0.5\text{ E}_{IN}$ to $0.5\text{ E}_{OUT}$ , $R_L = 100\Omega$ , $V_S = 35\text{ V}$	—	—	0.3	2.0	$\mu\text{s}$
Turn-Off Delay <sup>4</sup>	$t_{OFF}$	All	$0.5\text{ E}_{IN}$ to $0.5\text{ E}_{OUT}$ , $R_L = 100\Omega$ , $V_S = 35\text{ V}$ , See Note	—	—	2.0	10	$\mu\text{s}$

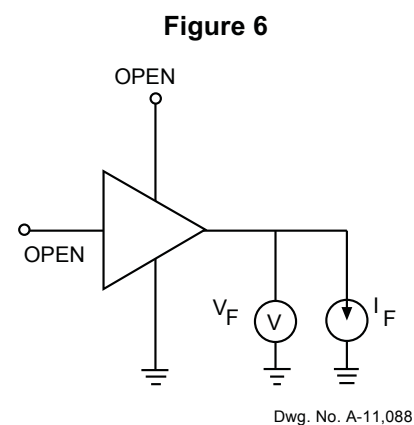
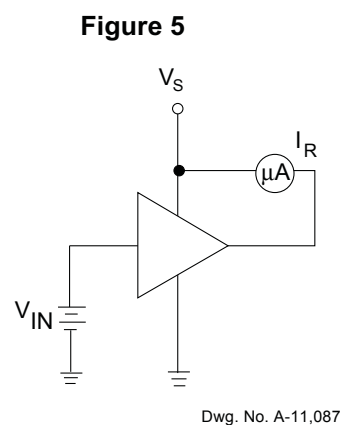
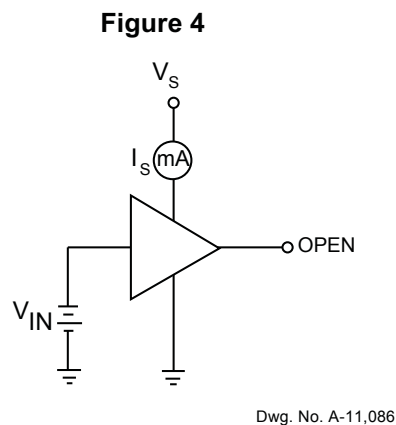
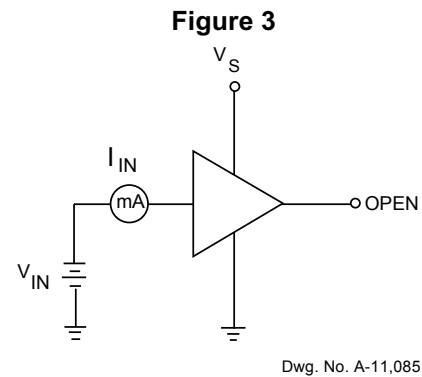
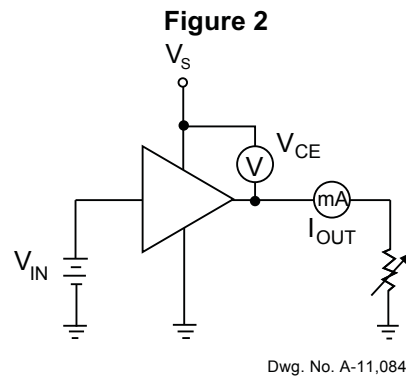
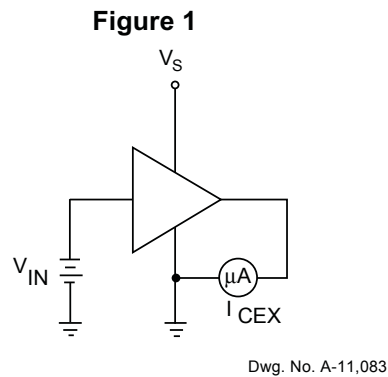
<sup>1</sup>Negative current is defined as coming out of (sourcing) the specified device terminal.

<sup>2</sup>All unused inputs must be connected to ground. Pull-down resistors (approximately 10 k $\Omega$ ) are recommended for inputs that are allowed to float while power is being applied to  $V_S$ .

<sup>3</sup>All inputs simultaneously.

<sup>4</sup>Turn-off delay is influenced by load conditions. Systems applications well below the specified output loading may require timing considerations for some designs, i.e., multiplexed displays or when used in combination with sink drivers in a totem pole configuration.

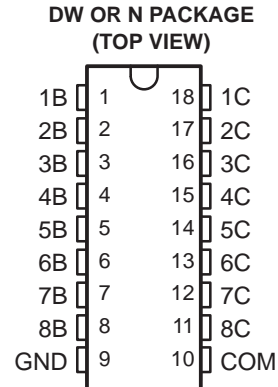
TEST FIGURES



# ULN2803A DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY

SLRS049C – FEBRUARY 1997 – REVISED AUGUST 2004

- 500-mA Rated Collector Current (Single Output)
- High-Voltage Outputs . . . 50 V
- Output Clamp Diodes
- Inputs Compatible With Various Types of Logic
- Relay Driver Applications
- Compatible with ULN2800A Series



## description/ordering information

The ULN2803A is a high-voltage, high-current Darlington transistor array. The device consists of eight npn Darlington pairs that feature high-voltage outputs with common-cathode clamp diodes for switching inductive loads. The collector-current rating of each Darlington pair is 500 mA. The Darlington pairs may be connected in parallel for higher current capability.

Applications include relay drivers, hammer drivers, lamp drivers, display drivers (LED and gas discharge), line drivers, and logic buffers. The ULN2803A has a 2.7-k $\Omega$  series base resistor for each Darlington pair for operation directly with TTL or 5-V CMOS devices.

## ORDERING INFORMATION

T <sub>A</sub>	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
–40°C to 85°C	PDIP (N)	Tube of 20	ULN2803AN	ULN2803AN
	SOIC (DW)	Tube of 40	ULN2803ADW	ULN2803A
		Reel of 2000	ULN2003ADWR	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at [www.ti.com/sc/package](http://www.ti.com/sc/package).



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

 **TEXAS  
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

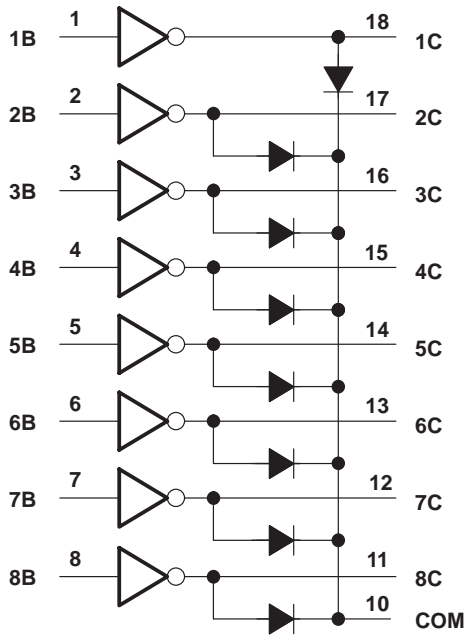
Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated



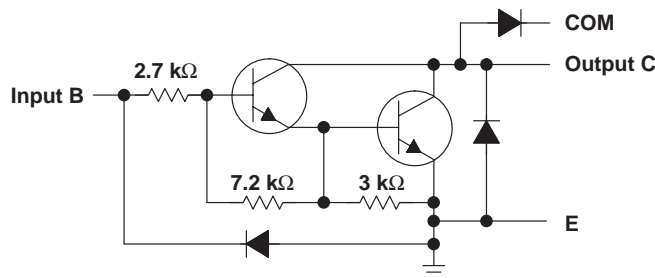
ULN2803A  
DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY

SLRS049C – FEBRUARY1997 – REVISED AUGUST 2004

logic diagram



schematic (each Darlington pair)



**absolute maximum ratings at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)†**

Collector-emitter voltage	50 V
Input voltage (see Note 1)	30 V
Continuous collector current	500 mA
Output clamp diode current	500 mA
Total substrate-terminal current	–2.5 A
Package thermal impedance, $\theta_{JA}$ (see Notes 2 and 3): DW package	TBD°C/W
N package	TBD°C/W
Operating virtual junction temperature, $T_J$	150°C
Storage temperature range, $T_{stg}$	–65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under “absolute maximum ratings” may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under “recommended operating conditions” is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES: 1. All voltage values, unless otherwise noted, are with respect to the emitter/substrate terminal GND.  
2. Maximum power dissipation is a function of  $T_J(\max)$ ,  $\theta_{JA}$ , and  $T_A$ . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is  $P_D = (T_J(\max) - T_A)/\theta_{JA}$ . Operating at the absolute maximum  $T_J$  of 150°C can affect reliability.  
3. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

**electrical characteristics at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)**

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
$I_{CEX}$	Collector cutoff current	$V_{CE} = 50\text{ V}$ , See Figure 1 $I_I = 0$ ,			50	$\mu\text{A}$
$I_{I(off)}$	Off-state input current	$V_{CE} = 50\text{ V}$ , $T_A = 70^\circ\text{C}$ , $I_C = 500\text{ }\mu\text{A}$ , See Figure 2	50	65		$\mu\text{A}$
$I_{I(on)}$	Input current	$V_I = 3.85\text{ V}$ , See Figure 3		0.93	1.35	mA
$V_{I(on)}$	On-state input voltage	$V_{CE} = 2\text{ V}$ , See Figure 4 $I_C = 200\text{ mA}$			2.4	V
		$I_C = 250\text{ mA}$			2.7	
		$I_C = 300\text{ mA}$			3	
$V_{CE(sat)}$	Collector-emitter saturation voltage	$I_I = 250\text{ }\mu\text{A}$ , See Figure 5 $I_C = 100\text{ mA}$ ,		0.9	1.1	V
		$I_I = 350\text{ }\mu\text{A}$ , See Figure 5 $I_C = 200\text{ mA}$ ,		1	1.3	
		$I_I = 500\text{ }\mu\text{A}$ , See Figure 5 $I_C = 350\text{ mA}$ ,		1.3	1.6	
$I_R$	Clamp diode reverse current	$V_R = 50\text{ V}$ , See Figure 6			50	$\mu\text{A}$
$V_F$	Clamp diode forward voltage	$I_F = 350\text{ mA}$ , See Figure 7		1.7	2	V
$C_i$	Input capacitance	$V_I = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$		15	25	pF

**switching characteristics at 25°C free-air temperature**

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
$t_{PLH}$	Propagation delay time, low- to high-level output	$V_S = 50\text{ V}$ , $R_L = 163\text{ }\Omega$ , $C_L = 15\text{ pF}$ , See Figure 8		130		ns
$t_{PHL}$	Propagation delay time, high- to low-level output			20		
$V_{OH}$	High-level output voltage after switching	$V_S = 50\text{ V}$ , See Figure 9 $I_O \approx 300\text{ mA}$ ,	$V_S - 20$			mV

# ULN2803A DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY

SLRS049C – FEBRUARY1997 – REVISED AUGUST 2004

## PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

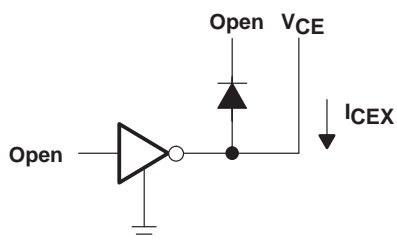


Figure 1.  $I_{CEX}$  Test Circuit

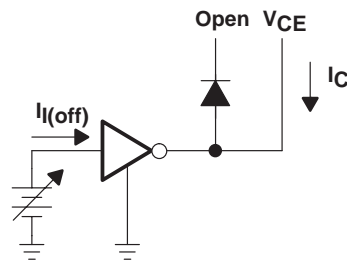


Figure 2.  $I_{I(off)}$  Test Circuit

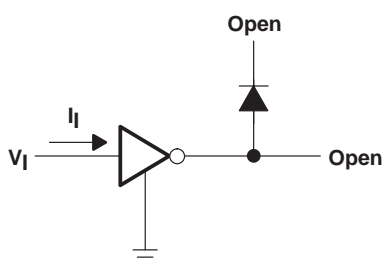


Figure 3.  $I_{I(on)}$  Test Circuit

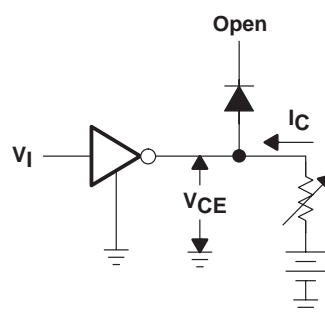


Figure 4.  $V_{I(on)}$  Test Circuit

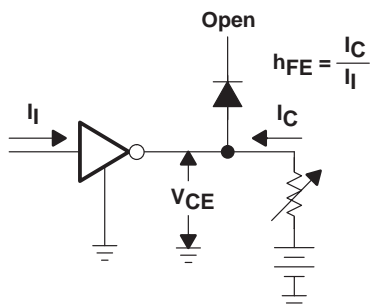


Figure 5.  $h_{FE}$ ,  $V_{CE(sat)}$  Test Circuit

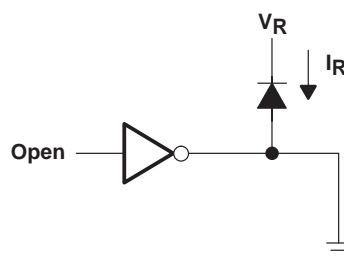


Figure 6.  $I_R$  Test Circuit

## PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

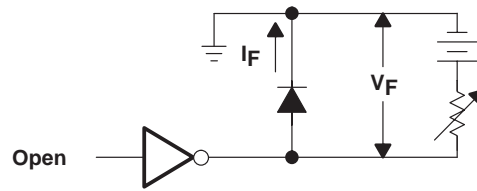
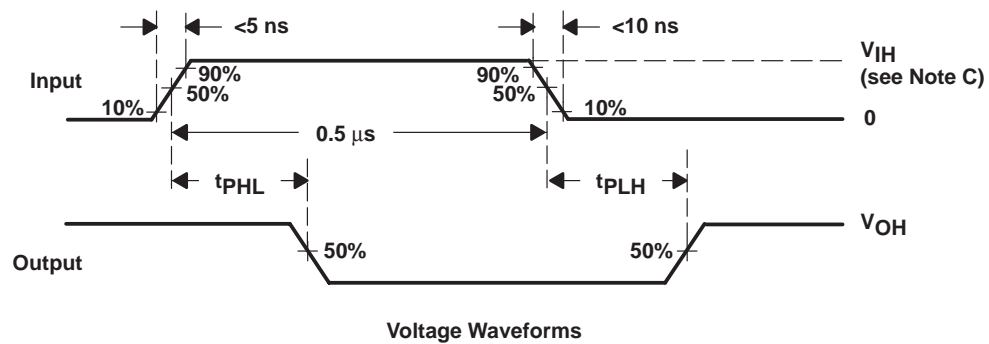
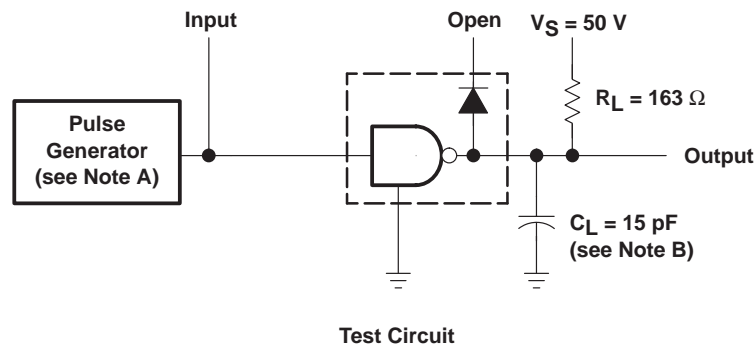


Figure 7.  $V_F$  Test Circuit



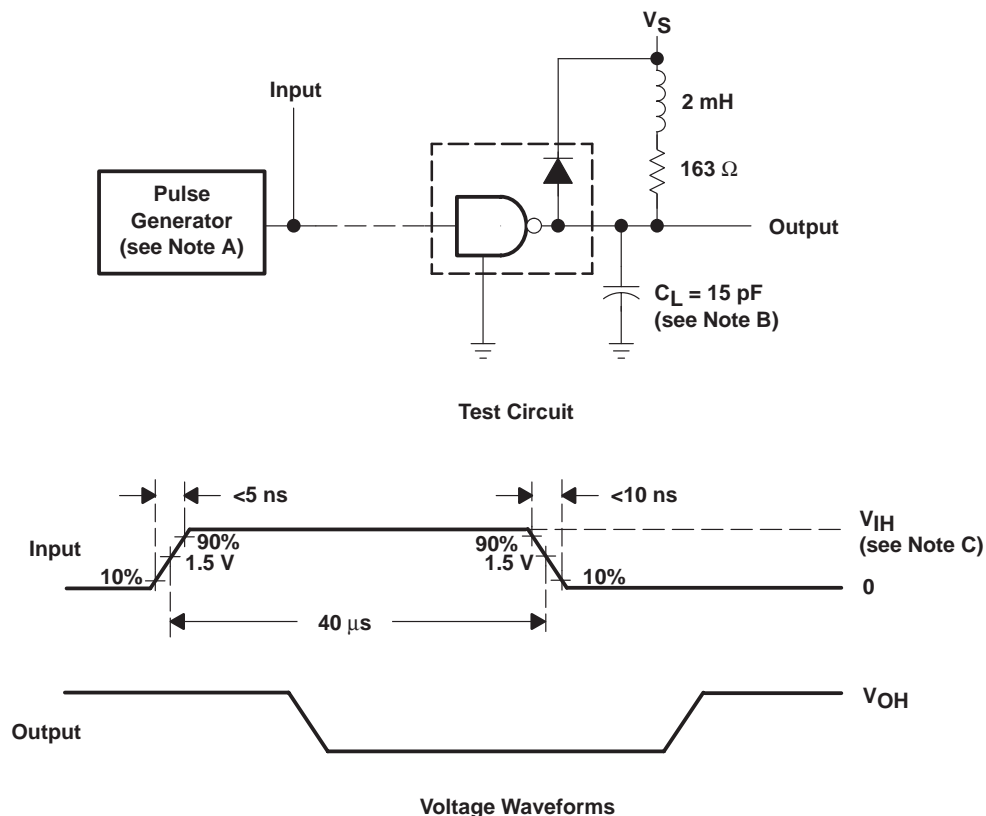
- NOTES: A. The pulse generator has the following characteristics: PRR = 1 MHz,  $Z_O = 50 \Omega$ .  
B.  $C_L$  includes probe and jig capacitance.  
C.  $V_{IH} = 3 V$

Figure 8. Propagation Delay Times

# ULN2803A DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY

SLRS049C – FEBRUARY1997 – REVISED AUGUST 2004

## PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



- NOTES: A. The pulse generator has the following characteristics: PRR = 12.5 KHz,  $Z_O = 50 \Omega$ .  
 B.  $C_L$  includes probe and jig capacitance.  
 C.  $V_{IH} = 3 \text{ V}$

**Figure 9. Latch-Up Test**

# CD54/74HC540, CD74HCT540, CD54/74HC541, CD54/74HCT541

## High-Speed CMOS Logic Octal Buffer and Line Drivers, Three-State

### Features

- 'HC540, CD74HCT540 ..... Inverting
- 'HC541, 'HCT541 ..... Non-Inverting
- Buffered Inputs
- Three-State Outputs
- Bus Line Driving Capability
- Typical Propagation Delay = 9ns at  $V_{CC} = 5V$ ,  
 $C_L = 15pF$ ,  $T_A = 25^\circ C$
- Fanout (Over Temperature Range)
  - Standard Outputs ..... 10 LSTTL Loads
  - Bus Driver Outputs ..... 15 LSTTL Loads
- Wide Operating Temperature Range ...  $-55^\circ C$  to  $125^\circ C$
- Balanced Propagation Delay and Transition Times
- Significant Power Reduction Compared to LSTTL Logic ICs
- HC Types
  - 2V to 6V Operation
  - High Noise Immunity:  $N_{IL} = 30\%$ ,  $N_{IH} = 30\%$  of  $V_{CC}$  at  $V_{CC} = 5V$
- HCT Types
  - 4.5V to 5.5V Operation
  - Direct LSTTL Input Logic Compatibility,  $V_{IL} = 0.8V$  (Max),  $V_{IH} = 2V$  (Min)
  - CMOS Input Compatibility,  $I_I \leq 1\mu A$  at  $V_{OL}$ ,  $V_{OH}$

### Description

The 'HC540 and CD74HCT540 are Inverting Octal Buffers and Line Drivers with Three-State Outputs and the capability to drive 15 LSTTL loads. The 'HC541 and 'HCT541 are Non-Inverting Octal Buffers and Line Drivers with Three-State Outputs that can drive 15 LSTTL loads. The Output Enables ( $\overline{OE1}$ ) and ( $\overline{OE2}$ ) control the Three-State Outputs. If either  $\overline{OE1}$  or  $\overline{OE2}$  is HIGH the outputs will be in the high impedance state. For data output  $\overline{OE1}$  and  $\overline{OE2}$  both must be LOW.

### Ordering Information

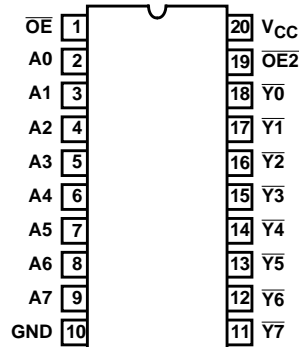
PART NUMBER	TEMP. RANGE ( $^\circ C$ )	PACKAGE
CD54HC540F3A	-55 to 125	20 Ld Cerdip
CD54HC541F3A	-55 to 125	20 Ld Cerdip
CD54HCT541F3A	-55 to 125	20 Ld Cerdip
CD74HC540E	-55 to 125	20 Ld PDIP
CD74HC540M	-55 to 125	20 Ld SOIC
CD74HC540M96	-55 to 125	20 Ld SOIC
CD74HC541E	-55 to 125	20 Ld PDIP
CD74HC541M	-55 to 125	20 Ld SOIC
CD74HC541M96	-55 to 125	20 Ld SOIC
CD74HC541PW	-55 to 125	20 Ld TSSOP
CD74HC541PWR	-55 to 125	20 Ld TSSOP
CD74HCT540E	-55 to 125	20 Ld PDIP
CD74HCT540M	-55 to 125	20 Ld SOIC
CD74HCT540M96	-55 to 125	20 Ld SOIC
CD74HCT541E	-55 to 125	20 Ld PDIP
CD74HCT541M	-55 to 125	20 Ld SOIC
CD74HCT541M96	-55 to 125	20 Ld SOIC

NOTE: When ordering, use the entire part number. The suffix 96 denotes tape and reel.

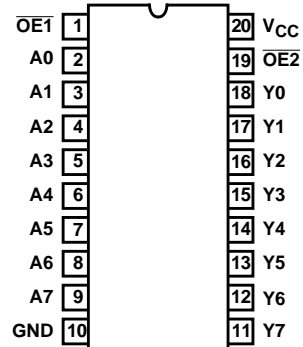
# CD54/74HC540, CD74HCT540, CD54/74HC541, CD54/74HCT541

## Pinouts

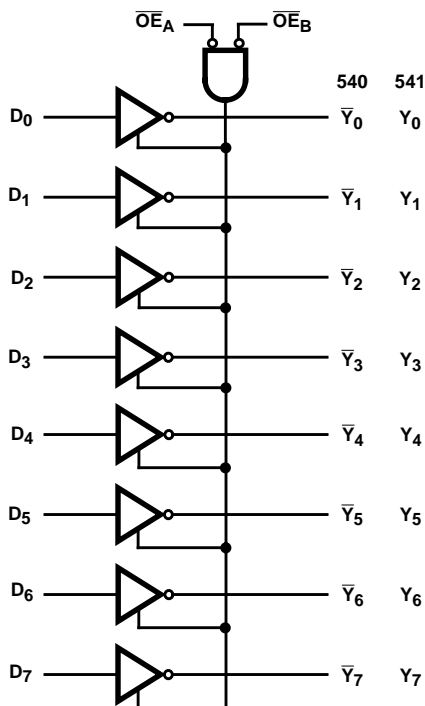
CD54HC540  
(CERDIP)  
CD74HC540, CD74HCT540  
(PDIP, SOIC)  
TOP VIEW



CD54HC541, CD54HCT541  
(CERDIP)  
CD74HC541  
(PDIP, SOIC, TSSOP)  
CD74HCT541  
(PDIP, SOIC)  
TOP VIEW



## Functional Diagram



**CD54/74HC540, CD74HCT540, CD54/74HC541, CD54/74HCT541**

TRUTH TABLE

INPUTS			OUTPUTS	
$\overline{OE1}$	$\overline{OE2}$	An	540	541
L	L	H	L	H
H	X	X	Z	Z
X	H	X	Z	Z
L	L	L	H	L

H = HIGH Voltage Level

L = LOW Voltage Level

X= Don't Care

Z = High Impedance



# CD54/74HC540, CD74HCT540, CD54/74HC541, CD54/74HCT541

## Absolute Maximum Ratings

DC Supply Voltage, $V_{CC}$	-0.5V to 7V
DC Input Diode Current, $I_{IK}$	
For $V_I < -0.5V$ or $V_I > V_{CC} + 0.5V$	$\pm 20mA$
DC Output Diode Current, $I_{OK}$	
For $V_O < -0.5V$ or $V_O > V_{CC} + 0.5V$	$\pm 20mA$
DC Drain Current, per Output, $I_O$	
For $-0.5V < V_O < V_{CC} + 0.5V$	$\pm 35mA$
DC Output Source or Sink Current per Output Pin, $I_O$	
For $V_O > -0.5V$ or $V_O < V_{CC} + 0.5V$	$\pm 25mA$
DC $V_{CC}$ or Ground Current, $I_{CC}$	$\pm 50mA$

## Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 1)	$\theta_{JA}$ ( $^{\circ}C/W$ )
E (PDIP) Package	69
M (SOIC) Package	58
PW (TSSOP) Package	83
Maximum Junction Temperature	150 $^{\circ}C$
Maximum Storage Temperature Range	-65 $^{\circ}C$ to 150 $^{\circ}C$
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s)	300 $^{\circ}C$
(SOIC - Lead Tips Only)	

## Operating Conditions

Temperature Range, $T_A$	-55 $^{\circ}C$ to 125 $^{\circ}C$
Supply Voltage Range, $V_{CC}$	
HC Types	.2V to 6V
HCT Types	.4.5V to 5.5V
DC Input or Output Voltage, $V_I$ , $V_O$	0V to $V_{CC}$
Input Rise and Fall Time	
2V	1000ns (Max)
4.5V	500ns (Max)
6V	400ns (Max)

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

### NOTE:

1. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

## DC Electrical Specifications

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		V <sub>CC</sub> (V)	25°C			-40°C TO 85°C		-55°C TO 125°C		UNITS		
		V <sub>I</sub> (V)	I <sub>O</sub> (mA)		MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX			
HC TYPES														
High Level Input Voltage	V <sub>IH</sub>	-	-	2	1.5	-	-	1.5	-	1.5	-	V		
				4.5	3.15	-	-	3.15	-	3.15	-	V		
				6	4.2	-	-	4.2	-	4.2	-	V		
Low Level Input Voltage	V <sub>IL</sub>	-	-	2	-	-	0.5	-	0.5	-	0.5	V		
				4.5	-	-	1.35	-	1.35	-	1.35	V		
				6	-	-	1.8	-	1.8	-	1.8	V		
High Level Output Voltage CMOS Loads	V <sub>OH</sub>	V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>	-0.02	2	1.9	-	-	1.9	-	1.9	-	V		
			-0.02	4.5	4.4	-	-	4.4	-	4.4	-	V		
			-0.02	6	5.9	-	-	5.9	-	5.9	-	V		
-			-	-	-	-	-	-	-	-	V			
-6			4.5	3.98	-	-	3.84	-	3.7	-	V			
-7.8			6	5.48	-	-	5.34	-	5.2	-	V			
High Level Output Voltage TTL Loads	V <sub>OL</sub>	V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	V		
			-6	4.5	3.98	-	-	3.84	-	3.7	-	V		
			-7.8	6	5.48	-	-	5.34	-	5.2	-	V		
-			-	-	-	-	-	-	-	-	V			
6			4.5	3.98	-	-	3.84	-	3.7	-	V			
7.8			6	5.48	-	-	5.34	-	5.2	-	V			
Low Level Output Voltage CMOS Loads	V <sub>OL</sub>	V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>	0.02	2	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V		
			0.02	4.5	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V		
			0.02	6	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V		
-			-	-	-	-	-	-	-	-	V			
6			4.5	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V			
7.8			6	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V			
Low Level Output Voltage TTL Loads	V <sub>OL</sub>	V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	V		
			6	4.5	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V		
			7.8	6	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V		
Input Leakage Current			I <sub>I</sub>	V <sub>CC</sub> or GND	-	6	-	-	±0.1	-	±1	-	±1	μA

**CD54/74HC540, CD74HCT540, CD54/74HC541, CD54/74HCT541**

**DC Electrical Specifications (Continued)**

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		V <sub>CC</sub> (V)	25°C			-40°C TO 85°C		-55°C TO 125°C		UNITS
		V <sub>I</sub> (V)	I <sub>O</sub> (mA)		MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
Quiescent Device Current	I <sub>CC</sub>	V <sub>CC</sub> or GND	0	6	-	-	8	-	80	-	160	μA
Three- State Leakage Current	I <sub>OZ</sub>	V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub>	V <sub>O</sub> = V <sub>CC</sub> or GND	6	-	-	±0.5	-	±5.0	-	±10	μA
<b>HCT TYPES</b>												
High Level Input Voltage	V <sub>IH</sub>	-	-	4.5 to 5.5	2	-	-	2	-	2	-	V
Low Level Input Voltage	V <sub>IL</sub>	-	-	4.5 to 5.5	-	-	0.8	-	0.8	-	0.8	V
High Level Output Voltage CMOS Loads	V <sub>OH</sub>	V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>	-0.02	4.5	4.4	-	-	4.4	-	4.4	-	V
High Level Output Voltage TTL Loads			-6	4.5	3.98	-	-	3.84	-	3.7	-	V
Low Level Output Voltage CMOS Loads	V <sub>OL</sub>	V <sub>IH</sub> or V <sub>IL</sub>	0.02	4.5	-	-	0.1	-	0.1	-	0.1	V
Low Level Output Voltage TTL Loads			6	4.5	-	-	0.26	-	0.33	-	0.4	V
Input Leakage Current	I <sub>I</sub>	V <sub>CC</sub> and GND	0	5.5	-	-	±0.1	-	±1	-	±1	μA
Quiescent Device Current	I <sub>CC</sub>	V <sub>CC</sub> or GND	0	5.5	-	-	8	-	80	-	160	μA
Three- State Leakage Current	I <sub>OZ</sub>	V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub>	V <sub>O</sub> = V <sub>CC</sub> or GND	5.5	-	-	±0.5	-	±5.0	-	±10	μA
Additional Quiescent Device Current Per Input Pin: 1 Unit Load	ΔI <sub>CC</sub> (Note 2)	V <sub>CC</sub> -2.1	-	4.5 to 5.5	-	100	360	-	450	-	490	μA

NOTE:

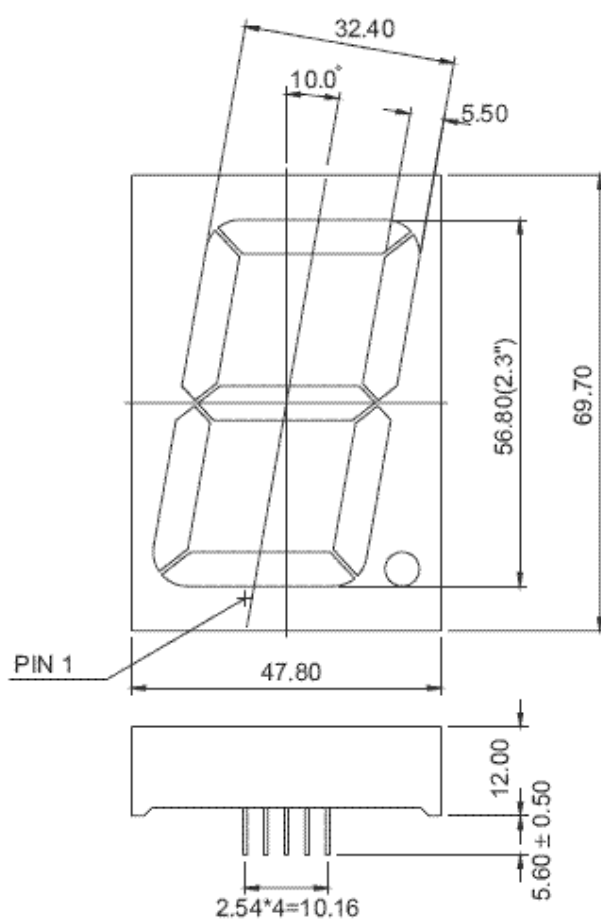
- For dual-supply systems theoretical worst case (V<sub>I</sub> = 2.4V, V<sub>CC</sub> = 5.5V) specification is 1.8mA.

**HCT Input Loading Table**

INPUT	UNIT LOADS	
	HCT540	HCT541
A0 - A7	1	0.4
$\overline{OE}2$	0.75	0.75
$\overline{OE}1$	1.15	1.15

NOTE: Unit Load is ΔI<sub>CC</sub> limit specific in DC Electrical Specifications Table, e.g., 360μA max. at 25°C.

# NFD-23011 Series



1, 5 +8V

2 E

3 D

4 C

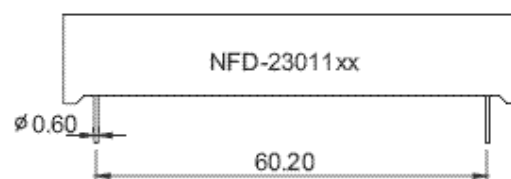
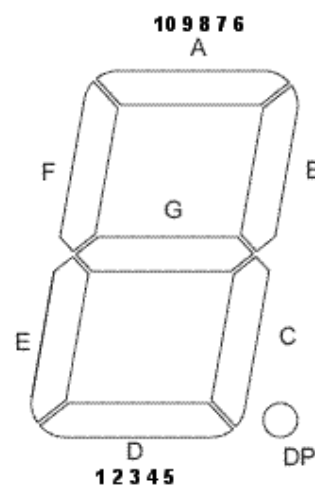
6 B

7 A

8 dp

9 F

10 G





## 2.30"(56.80mm)Single Digit 7 Segment Display

### Features:

- \*High segment intensity
- \*Wide viewing angle
- \*Range of colours
- \*Black face White segment
- \*Rohs compliant

### Available option:

- \*Alternative face and segment colour
- \*Alternative font
- \*Cropped terminal pins
- \*Available emitting colour
- \*Low current version

### Electro/Optical Characteristics If=20mA Ta=25°C

Part Number Common Cathode	Part Number Common Anode	Emitting Colors	Peak Wavelength	Forward Voltage Vf		Luminous Intensity Iv	
				Typical	Max.	Min.	Typical
NFD-23011AS-11	NFD-23011BS-11	GaAlAs/GaAs Hi-Red	660	7.40	8.80	240.0	360.0
NFD-23011AB-11	NFD-23011BB-11	InGaN/SiC Blue	470	14.00	16.80	150.0	240.0
NFD-23011AUB-11	NFD-23011BUB-11	InGaN/SiC Super Blue	470	14.00	16.80	240.0	360.0
NFD-23011AG-11	NFD-23011BG-11	GaP/GaP Green	570	8.80	10.00	220.0	330.0
Units			nm	V		mcd	

### Maximum Ratings Ta=25°C (Derate above 25°C)

Characteristic	Condition	Symbol	Hi-Red	Blue	Super Blue	Green			Units
Pulse Forward Current	0.1 duty cycle 0.1ms Pulse width	I <sub>FP</sub>	150	100	100	150			mA
DC Forward Current		I <sub>F</sub>	25	30	30	30			mA
Reverse Current	V <sub>r</sub> =5V	I <sub>R</sub>	20	20	20	20			μA
Power Dissipature		P <sub>D</sub>	60*30	120*30	120*30	80*30			mW
Operating Temperature		T <sub>OPR</sub>	-40 to +80						°C
Storage Temperature		T <sub>TSG</sub>	-40 to +85						°C
Lead soldering temperature	1.60mm from body maximum 3 seconds		260						°C

Checked

Chen N.H.

Approved

Jason Chen

Date

2006/05/24

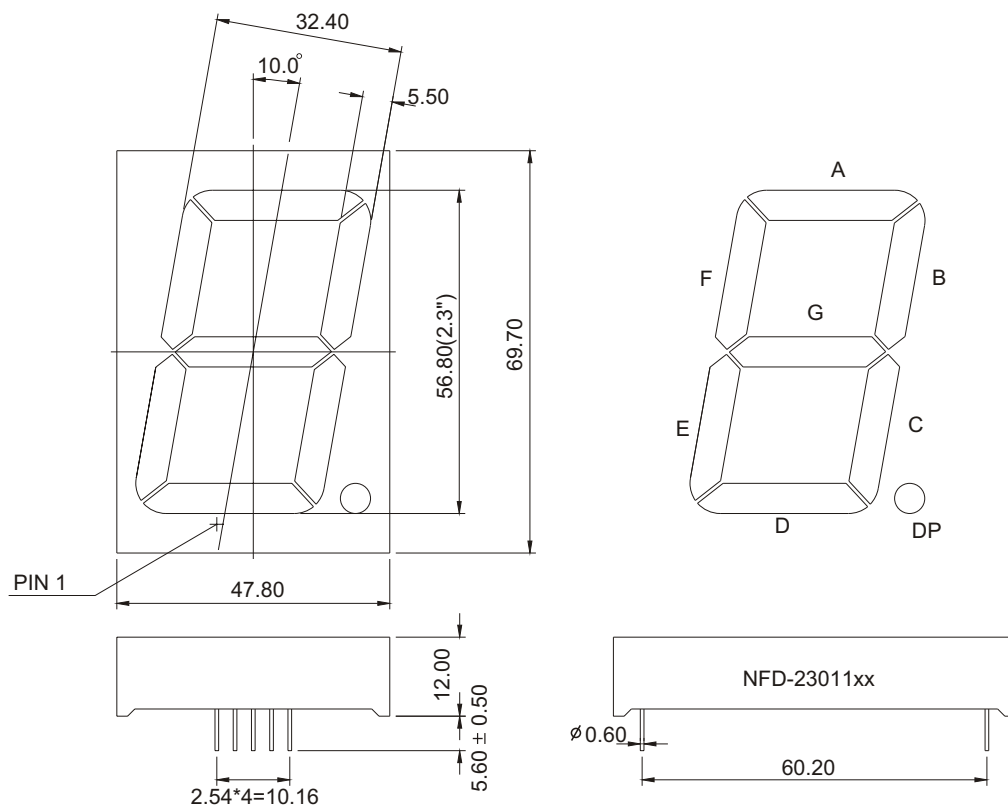
PAGE 1 /2



## 2.30"(56.80mm)Single Digit 7 Segment Display

### PACKAGE DIMENSION

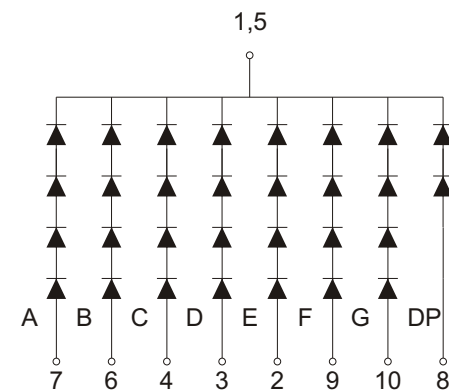
#### NFD-23011 Series



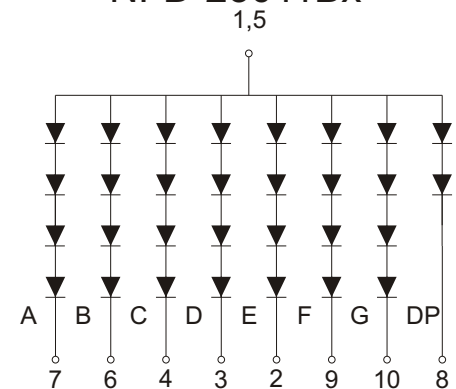
Tolerance  $\pm 0.25\text{mm}$  unless stated

### INTERNAL CIRCUIT DIAGRAM

#### Common Cathode NFD-23011Ax



#### Common Anode NFD-23011Bx



**DS3231**

## Extremely Accurate I2C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

## General Description

The DS3231 is a low-cost, extremely accurate I<sup>2</sup>C real-time clock (RTC) with an integrated temperature-compensated crystal oscillator (TCXO) and crystal. The device incorporates a battery input, and maintains accurate timekeeping when main power to the device is interrupted. The integration of the crystal resonator enhances the long-term accuracy of the device as well as reduces the piece-part count in a manufacturing line. The DS3231 is available in commercial and industrial temperature ranges, and is offered in a 16-pin, 300-mil SO package.

The RTC maintains seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The date at the end of the month is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with an AM/PM indicator. Two programmable time-of-day alarms and a programmable square-wave output are provided. Address and data are transferred serially through an I<sup>2</sup>C bidirectional bus.

A precision temperature-compensated voltage reference and comparator circuit monitors the status of  $V_{CC}$  to detect power failures, to provide a reset output, and to automatically switch to the backup supply when necessary. Additionally, the  $\overline{RST}$  pin is monitored as a pushbutton input for generating a  $\mu P$  reset.

## Benefits and Features

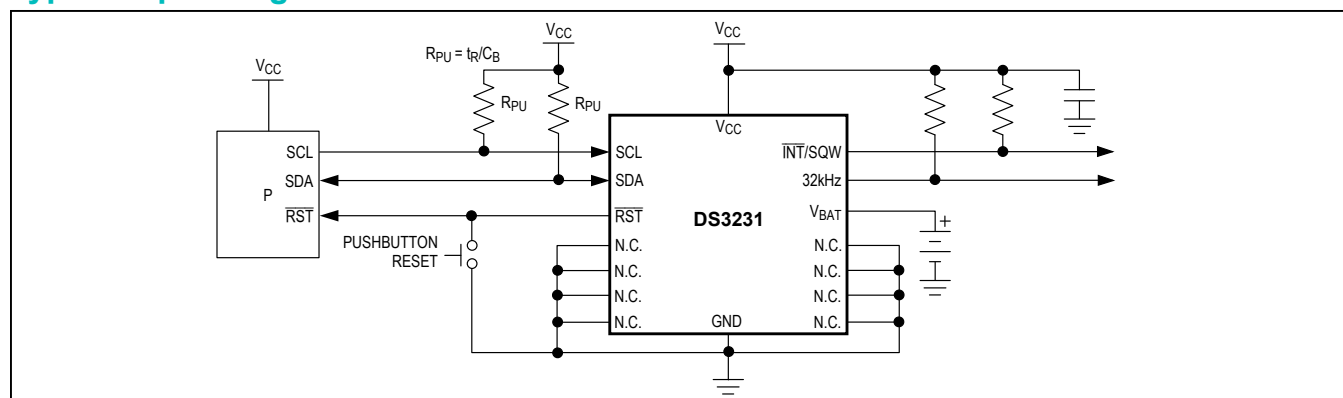
- **Highly Accurate RTC Completely Manages All Timekeeping Functions**
  - Real-Time Clock Counts Seconds, Minutes, Hours, Date of the Month, Month, Day of the Week, and Year, with Leap-Year Compensation Valid Up to 2100
  - Accuracy  $\pm 2\text{ppm}$  from  $0^{\circ}\text{C}$  to  $+40^{\circ}\text{C}$
  - Accuracy  $\pm 3.5\text{ppm}$  from  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$
  - Digital Temp Sensor Output:  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  Accuracy
  - Register for Aging Trim
  - RST Output/Pushbutton Reset Debounce Input
  - Two Time-of-Day Alarms
  - Programmable Square-Wave Output Signal
- **Simple Serial Interface Connects to Most Microcontrollers**
  - Fast (400kHz) I<sup>2</sup>C Interface
- **Battery-Backup Input for Continuous Timekeeping**
  - Low Power Operation Extends Battery-Backup Run Time
  - 3.3V Operation
- **Operating Temperature Ranges: Commercial ( $0^{\circ}\text{C}$  to  $+70^{\circ}\text{C}$ ) and Industrial ( $-40^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$ )**
- **Underwriters Laboratories® (UL) Recognized**

## Applications

- Servers
- Telematics
- Utility Power Meters
- GPS

**Ordering Information and Pin Configuration appear at end of data sheet.**

## Typical Operating Circuit



*Underwriters Laboratories is a registered certification mark of Underwriters Laboratories Inc.*

## Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground ....-0.3V to +6.0V  
 Junction-to-Ambient Thermal Resistance ( $\theta_{JA}$ ) (Note 1) 73°C/W  
 Junction-to-Case Thermal Resistance ( $\theta_{JC}$ ) (Note 1) ....23°C/W  
 Operating Temperature Range

DS3231S .....0°C to +70°C

DS3231SN.....-40°C to +85°C

Junction Temperature .....+125°C  
 Storage Temperature Range .....-40°C to +85°C  
 Lead Temperature (soldering, 10s) .....+260°C  
 Soldering Temperature (reflow, 2 times max) .....+260°C  
 (see the *Handling, PCB Layout, and Assembly* section)

**Note 1:** Package thermal resistances were obtained using the method described in JEDEC specification JESD51-7, using a four-layer board. For detailed information on package thermal considerations, refer to [www.maximintegrated.com/thermal-tutorial](http://www.maximintegrated.com/thermal-tutorial).

*Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.*

## Recommended Operating Conditions

( $T_A = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ , unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	$V_{CC}$		2.3	3.3	5.5	V
	$V_{BAT}$		2.3	3.0	5.5	V
Logic 1 Input SDA, SCL	$V_{IH}$		0.7 x $V_{CC}$		$V_{CC} + 0.3$	V
Logic 0 Input SDA, SCL	$V_{IL}$		-0.3		0.3 x $V_{CC}$	V

## Electrical Characteristics

( $V_{CC} = 2.3V$  to  $5.5V$ ,  $V_{CC}$  = Active Supply (see Table 1),  $T_A = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ , unless otherwise noted.) (Typical values are at  $V_{CC} = 3.3V$ ,  $V_{BAT} = 3.0V$ , and  $T_A = +25^\circ C$ , unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Active Supply Current	$I_{CCA}$	(Notes 4, 5)	$V_{CC} = 3.63V$		200	$\mu A$
			$V_{CC} = 5.5V$		300	
Standby Supply Current	$I_{CCS}$	I <sup>2</sup> C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off (Note 5)	$V_{CC} = 3.63V$		110	$\mu A$
			$V_{CC} = 5.5V$		170	
Temperature Conversion Current	$I_{CCSCONV}$	I <sup>2</sup> C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off	$V_{CC} = 3.63V$		575	$\mu A$
			$V_{CC} = 5.5V$		650	
Power-Fail Voltage	$V_{PF}$		2.45	2.575	2.70	V
Logic 0 Output, 32kHz, $\overline{INT}/SQW$ , SDA	$V_{OL}$	$I_{OL} = 3mA$			0.4	V
Logic 0 Output, $\overline{RST}$	$V_{OL}$	$I_{OL} = 1mA$			0.4	V
Output Leakage Current 32kHz, $\overline{INT}/SQW$ , SDA	$I_{LO}$	Output high impedance	-1	0	+1	$\mu A$
Input Leakage SCL	$I_{LI}$		-1		+1	$\mu A$
$\overline{RST}$ Pin I/O Leakage	$I_{OL}$	$\overline{RST}$ high impedance (Note 6)	-200		+10	$\mu A$
$V_{BAT}$ Leakage Current ( $V_{CC}$ Active)	$I_{BATLKG}$			25	100	nA

**Electrical Characteristics (continued)**

( $V_{CC} = 2.3V$  to  $5.5V$ ,  $V_{CC}$  = Active Supply (see Table 1),  $T_A = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ , unless otherwise noted.) (Typical values are at  $V_{CC} = 3.3V$ ,  $V_{BAT} = 3.0V$ , and  $T_A = +25^{\circ}C$ , unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Frequency	$f_{OUT}$	$V_{CC} = 3.3V$ or $V_{BAT} = 3.3V$		32.768		kHz
Frequency Stability vs. Temperature (Commercial)	$\Delta f/f_{OUT}$	$V_{CC} = 3.3V$ or $V_{BAT} = 3.3V$ , aging offset = 00h	$0^{\circ}C$ to $+40^{\circ}C$		$\pm 2$	ppm
			$>40^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$		$\pm 3.5$	
Frequency Stability vs. Temperature (Industrial)	$\Delta f/f_{OUT}$	$V_{CC} = 3.3V$ or $V_{BAT} = 3.3V$ , aging offset = 00h	$-40^{\circ}C$ to $<0^{\circ}C$		$\pm 3.5$	ppm
			$0^{\circ}C$ to $+40^{\circ}C$		$\pm 2$	
			$>40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$		$\pm 3.5$	
Frequency Stability vs. Voltage	$\Delta f/V$			1		ppm/V
Trim Register Frequency Sensitivity per LSB	$\Delta f/LSB$	Specified at:	$-40^{\circ}C$	0.7		ppm
			$+25^{\circ}C$	0.1		
			$+70^{\circ}C$	0.4		
			$+85^{\circ}C$	0.8		
Temperature Accuracy	Temp	$V_{CC} = 3.3V$ or $V_{BAT} = 3.3V$	-3		+3	$^{\circ}C$
Crystal Aging	$\Delta f/f_O$	After reflow, not production tested	First year	$\pm 1.0$		ppm
			0–10 years	$\pm 5.0$		

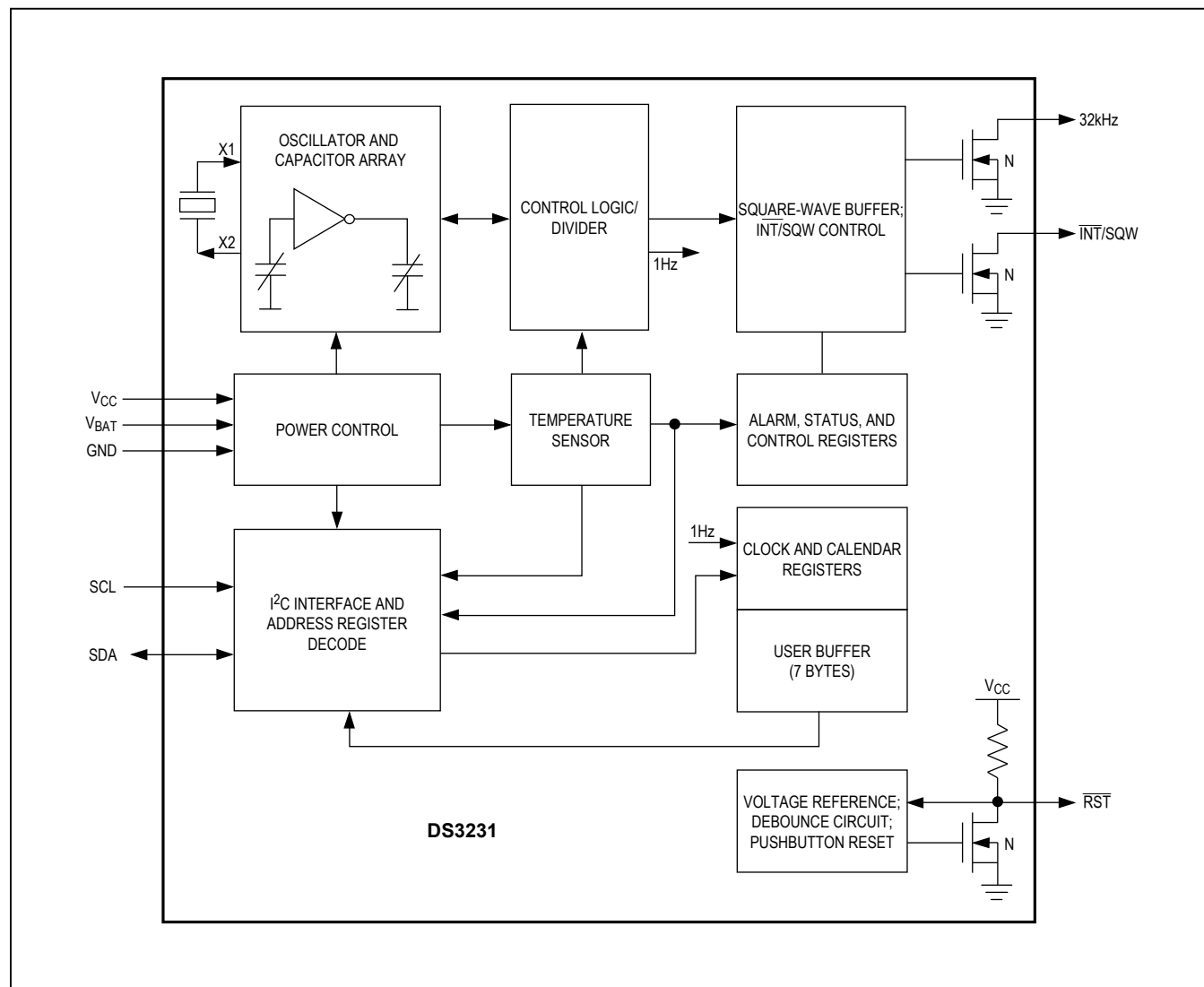
**Electrical Characteristics**

( $V_{CC} = 0V$ ,  $V_{BAT} = 2.3V$  to  $5.5V$ ,  $T_A = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ , unless otherwise noted.) (Note 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Active Battery Current	$I_{BATA}$	$\overline{E}OSC = 0$ , BBSQW = 0, SCL = 400kHz (Note 5)	$V_{BAT} = 3.63V$		70	$\mu A$
			$V_{BAT} = 5.5V$		150	
Timekeeping Battery Current	$I_{BATT}$	$\overline{E}OSC = 0$ , BBSQW = 0, EN32kHz = 1, SCL = SDA = 0V or SCL = SDA = $V_{BAT}$ (Note 5)	$V_{BAT} = 3.63V$	0.84	3.0	$\mu A$
			$V_{BAT} = 5.5V$	1.0	3.5	
Temperature Conversion Current	$I_{BATTC}$	$\overline{E}OSC = 0$ , BBSQW = 0, SCL = SDA = 0V or SCL = SDA = $V_{BAT}$	$V_{BAT} = 3.63V$		575	$\mu A$
			$V_{BAT} = 5.5V$		650	
Data-Retention Current	$I_{BATDR}$	$\overline{E}OSC = 1$ , SCL = SDA = 0V, $+25^{\circ}C$			100	nA



## Block Diagram





## PCF8574 Remote 8-Bit I/O Expander for I<sup>2</sup>C Bus

### 1 Features

- Low Standby-Current Consumption of 10  $\mu$ A Max
- I<sup>2</sup>C to Parallel-Port Expander
- Open-Drain Interrupt Output
- Compatible With Most Microcontrollers
- Latched Outputs With High-Current Drive Capability for Directly Driving LEDs
- Latch-Up Performance Exceeds 100 mA Per JESD 78, Class II

### 2 Applications

- Telecom Shelters: Filter Units
- Servers
- Routers (Telecom Switching Equipment)
- Personal Computers
- Personal Electronics
- Industrial Automation
- Products with GPIO-Limited Processors

### 3 Description

This 8-bit input/output (I/O) expander for the two-line bidirectional bus (I<sup>2</sup>C) is designed for 2.5-V to 6-V V<sub>CC</sub> operation.

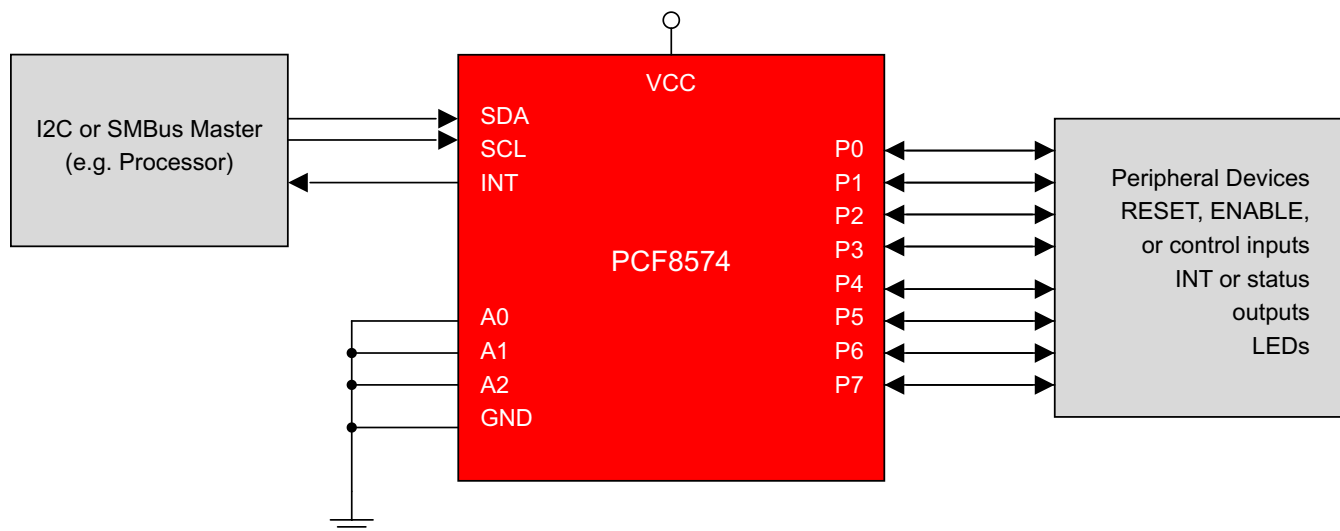
The PCF8574 device provides general-purpose remote I/O expansion for most microcontroller families by way of the I<sup>2</sup>C interface [serial clock (SCL), serial data (SDA)].

The device features an 8-bit quasi-bidirectional I/O port (P0–P7), including latched outputs with high-current drive capability for directly driving LEDs. Each quasi-bidirectional I/O can be used as an input or output without the use of a data-direction control signal. At power on, the I/Os are high. In this mode, only a current source to V<sub>CC</sub> is active.

**Device Information<sup>(1)</sup>**

PART NUMBER	PACKAGE (PIN)	BODY SIZE (NOM)
PCF8574	TVSOP (20)	5.00 mm × 4.40 mm
	SOIC (16)	10.30 mm × 7.50 mm
	PDIP (16)	19.30 mm × 6.35 mm
	TSSOP (20)	6.50 mm × 4.40 mm
	QFN (16)	3.00 mm × 3.00 mm
	VQFN (20)	4.50 mm × 3.50 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.



# IRF1404

## HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated
- Automotive Qualified (Q101)

### Description

Seventh Generation HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications including automotive.

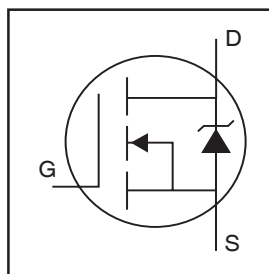
The TO-220 package is universally preferred for all automotive-commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.

### Absolute Maximum Ratings

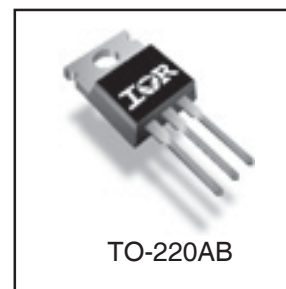
	Parameter	Max.	Units
$I_D$ @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS}$ @ 10V	202 <sup>⑥</sup>	A
$I_D$ @ $T_C = 100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS}$ @ 10V	143 <sup>⑥</sup>	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current <sup>①</sup>	808	
$P_D$ @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	Power Dissipation	333	W
	Linear Derating Factor	2.2	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy <sup>②</sup>	620	mJ
$I_{AR}$	Avalanche Current	See Fig.12a, 12b, 15, 16	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy <sup>②</sup>		mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt <sup>③</sup>	1.5	V/ns
$T_J$	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
$T_{STG}$	Storage Temperature Range	-55 to + 175	
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case )	
	Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)	

### Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.45	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

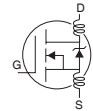


$V_{DSS} = 40\text{V}$
$R_{DS(on)} = 0.004\Omega$
$I_D = 202\text{A}^{\text{⑥}}$



## Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	40	—	—	V	$V_{GS} = 0V$ , $I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.039	—	V/ $^\circ\text{C}$	Reference to $25^\circ\text{C}$ , $I_D = 1mA$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	0.0035	0.004	$\Omega$	$V_{GS} = 10V$ , $I_D = 121A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = 10V$ , $I_D = 250\mu A$
$g_{fs}$	Forward Transconductance	76	—	—	S	$V_{DS} = 25V$ , $I_D = 121A$
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	20	$\mu A$	$V_{DS} = 40V$ , $V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 32V$ , $V_{GS} = 0V$ , $T_J = 150^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	200	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-200		$V_{GS} = -20V$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	131	196	nC	$I_D = 121A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	36	—		$V_{DS} = 32V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	37	56		$V_{GS} = 10V$ ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	17	—	ns	$V_{DD} = 20V$
$t_r$	Rise Time	—	190	—		$I_D = 121A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	46	—		$R_G = 2.5\Omega$
$t_f$	Fall Time	—	33	—		$R_D = 0.2\Omega$ ④
$L_D$	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
$L_S$	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	5669	—	pF	$V_{GS} = 0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	1659	—		$V_{DS} = 25V$
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	223	—		$f = 1.0MHz$ , See Fig. 5
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	6205	—		$V_{GS} = 0V$ , $V_{DS} = 1.0V$ , $f = 1.0MHz$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	1467	—		$V_{GS} = 0V$ , $V_{DS} = 32V$ , $f = 1.0MHz$
$C_{oss \text{ eff.}}$	Effective Output Capacitance ⑤	—	2249	—		$V_{GS} = 0V$ , $V_{DS} = 0V$ to $32V$



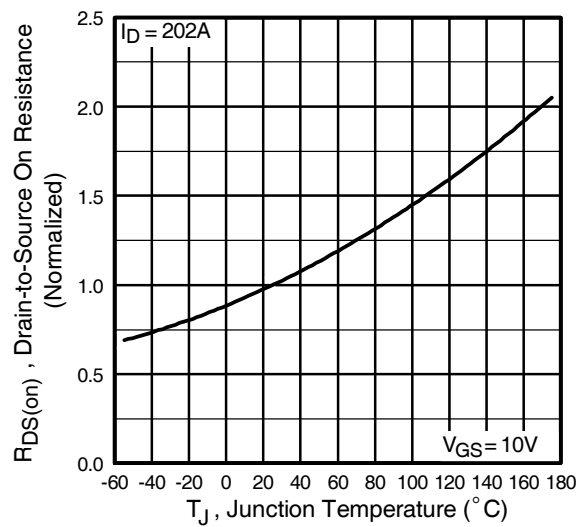
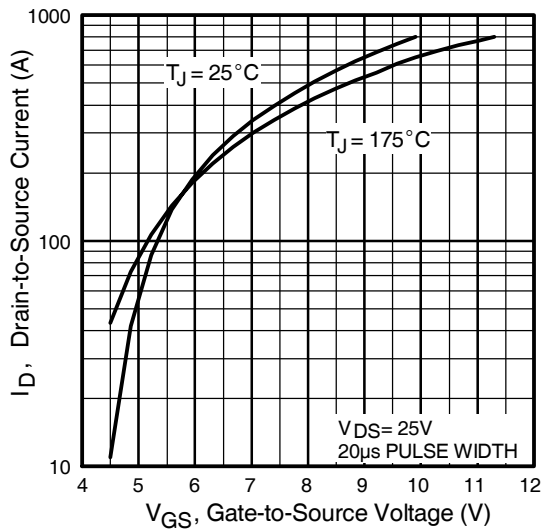
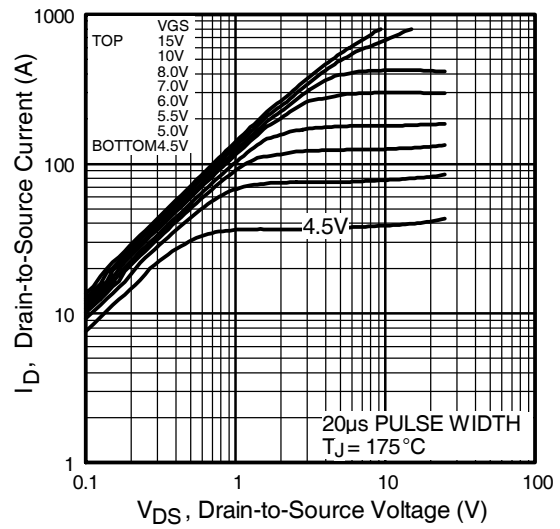
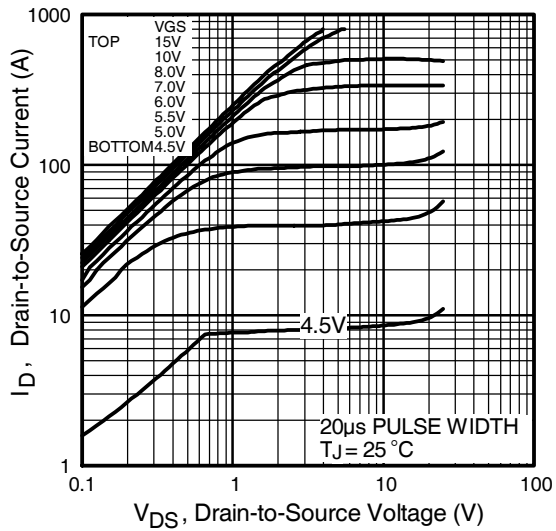
## Source-Drain Ratings and Characteristics

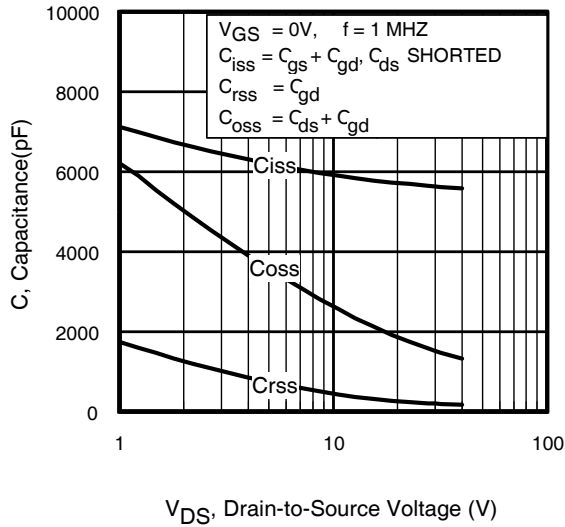
	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	202 ⑥	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	808		
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	1.5	V	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $I_S = 121A$ , $V_{GS} = 0V$ ④
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	78	117	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $I_F = 121A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	163	245	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ④
$t_{on}$	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S + L_D$ )				

### Notes:

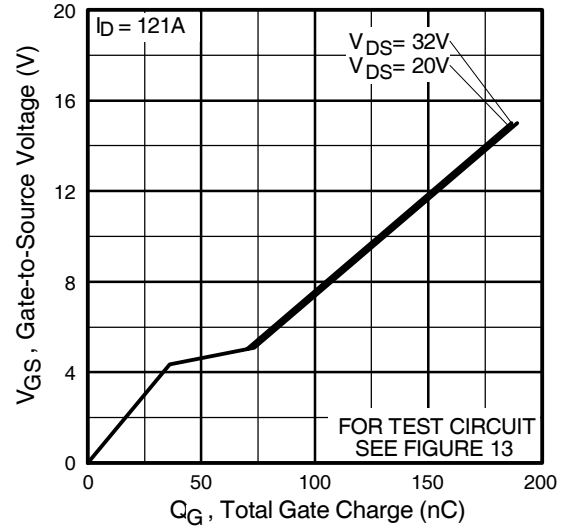
- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)
- ② Starting  $T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $L = 85\mu H$   
 $R_G = 25\Omega$ ,  $I_{AS} = 121A$ . (See Figure 12)
- ③  $I_{SD} \leq 121A$ ,  $di/dt \leq 130A/\mu s$ ,  $V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$ ,  
 $T_J \leq 175^\circ\text{C}$

- ④ Pulse width  $\leq 400\mu s$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .
- ⑤  $C_{oss \text{ eff.}}$  is a fixed capacitance that gives the same charging time as  $C_{oss}$  while  $V_{DS}$  is rising from 0 to 80%  $V_{DSS}$
- ⑥ Calculated continuous current based on maximum allowable junction temperature. Package limitation current is 75A.

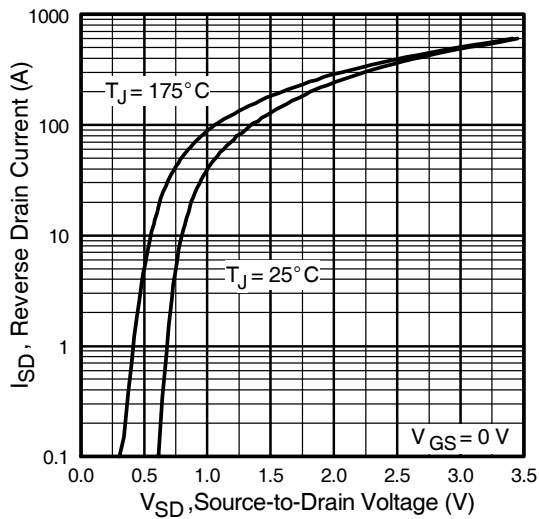




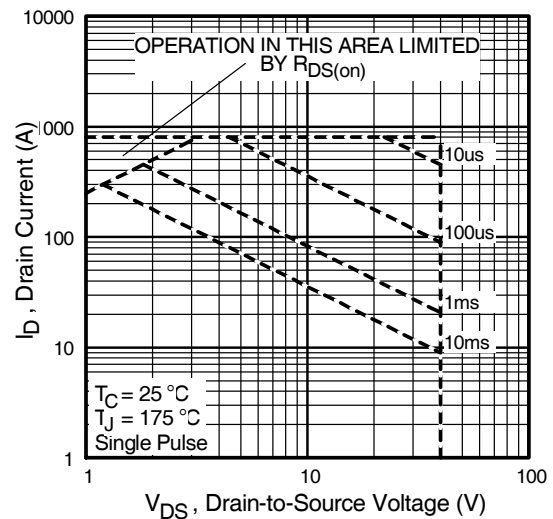
**Fig 5.** Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage



**Fig 6.** Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage



**Fig 7.** Typical Source-Drain Diode Forward Voltage



**Fig 8.** Maximum Safe Operating Area



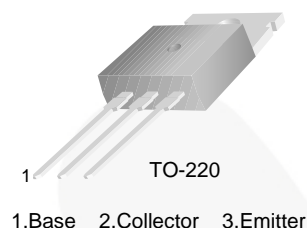
November 2014

# TIP41A / TIP41B / TIP41C

## NPN Epitaxial Silicon Transistor

### Features

- Medium Power Linear Switching Applications
- Complement to TIP42 Series



### Ordering Information

Part Number	Top Mark	Package	Packing Method
TIP41A	TIP41A	TO-220 3L (Single Gauge)	Bulk
TIP41B	TIP41B	TO-220 3L (Single Gauge)	Bulk
TIP41C	TIP41C	TO-220 3L (Single Gauge)	Bulk
TIP41CTU	TIP41C	TO-220 3L (Single Gauge)	Rail

### Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at  $T_C = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted.

Symbol	Parameter		Value	Unit
$V_{CBO}$	Collector-Base Voltage	TIP41A	60	V
		TIP41B	80	
		TIP41C	100	
$V_{CEO}$	Collector-Emitter Voltage	TIP41A	60	V
		TIP41B	80	
		TIP41C	100	
$V_{EBO}$	Emitter-Base Voltage		5	V
$I_C$	Collector Current (DC)		6	A
$I_{CP}$	Collector Current (Pulse)		10	A
$I_B$	Base Current		2	A
$T_J$	Junction Temperature		150	$^\circ\text{C}$
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		-65 to 150	$^\circ\text{C}$

## Thermal Characteristics

Values are at  $T_C = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit
$P_C$	Collector Dissipation ( $T_C = 25^\circ\text{C}$ )	65	W
	Collector Dissipation ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )	2	

## Electrical Characteristics

Values are at  $T_C = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Max.	Unit
$V_{CEO(sus)}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage <sup>(1)</sup>	TIP41A	60		V
		TIP41B	80		
		TIP41C	100		
$I_{CEO}$	Collector Cut-Off Current	TIP41A $V_{CE} = 30\text{ V}, I_B = 0$		0.7	mA
		TIP41B / TIP41C $V_{CE} = 60\text{ V}, I_B = 0$		0.7	
$I_{CES}$	Collector Cut-Off Current	TIP41A $V_{CE} = 60\text{ V}, V_{EB} = 0$		400	$\mu\text{A}$
		TIP41B $V_{CE} = 80\text{ V}, V_{EB} = 0$		400	
		TIP41C $V_{CE} = 100\text{ V}, V_{EB} = 0$		400	
$I_{EBO}$	Emitter Cut-Off Current	$V_{EB} = 5\text{ V}, I_C = 0$		1	mA
$h_{FE}$	DC Current Gain <sup>(1)</sup>	$V_{CE} = 4\text{ V}, I_C = 0.3\text{ A}$	30		
		$V_{CE} = 4\text{ V}, I_C = 3\text{ A}$	15	75	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage <sup>(1)</sup>	$I_C = 6\text{ A}, I_B = 600\text{ mA}$		1.5	V
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage <sup>(1)</sup>	$V_{CE} = 4\text{ V}, I_C = 6\text{ A}$		2.0	V
$f_T$	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = 10\text{ V}, I_C = 500\text{ mA}, f = 1\text{ MHz}$	3.0		MHz

### Note:

1. Pulse test:  $p_w \leq 300\text{ }\mu\text{s}$ , duty cycle  $\leq 2\%$ .





September 2014

# LM78XX / LM78XXA

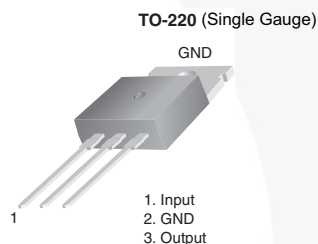
## 3-Terminal 1 A Positive Voltage Regulator

### Features

- Output Current up to 1 A
- Output Voltages: 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24 V
- Thermal Overload Protection
- Short-Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

### Description

The LM78XX series of three-terminal positive regulators is available in the TO-220 package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down, and safe operating area protection. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1 A output current. Although designed primarily as fixed-voltage regulators, these devices can be used with external components for adjustable voltages and currents.



### Ordering Information<sup>(1)</sup>

Product Number	Output Voltage Tolerance	Package	Operating Temperature	Packing Method
LM7805CT	±4%	TO-220 (Single Gauge)	-40°C to +125°C	Rail
LM7806CT				
LM7808CT				
LM7809CT				
LM7810CT				
LM7812CT				
LM7815CT				
LM7818CT				
LM7824CT				
LM7805ACT	±2%		0°C to +125°C	
LM7809ACT				
LM7810ACT				
LM7812ACT				
LM7815ACT				

#### Note:

1. Above output voltage tolerance is available at 25°C.

## Block Diagram

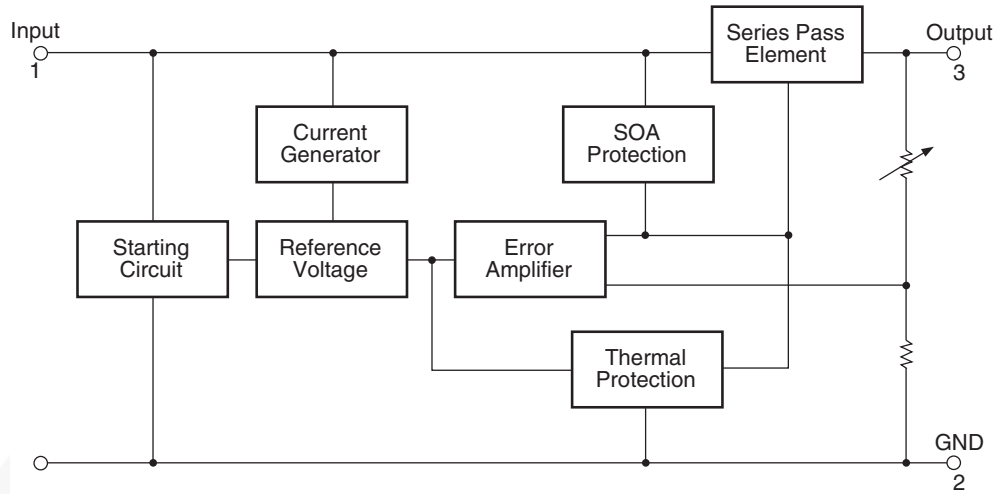


Figure 1. Block Diagram

## Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted.

Symbol	Parameter		Value	Unit
$V_I$	Input Voltage	$V_O = 5\text{ V to }18\text{ V}$	35	V
		$V_O = 24\text{ V}$	40	
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction-Case (TO-220)		5	$^\circ\text{C/W}$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction-Air (TO-220)		65	$^\circ\text{C/W}$
$T_{OPR}$	Operating Temperature Range	LM78xx	-40 to +125	$^\circ\text{C}$
		LM78xxA	0 to +125	
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		- 65 to +150	$^\circ\text{C}$

**Electrical Characteristics (LM7805)**

Refer to the test circuit,  $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $V_I = 10\text{ V}$ ,  $C_I = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ , unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	4.80	5.00	5.20	V
		$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ , $P_O \leq 15\text{ W}$ , $V_I = 7\text{ V to }20\text{ V}$	4.75	5.00	5.25	
Regline	Line Regulation <sup>(2)</sup>	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 7\text{ V to }25\text{ V}$	4.0	100.0	mV
			$V_I = 8\text{ V to }12\text{ V}$	1.6	50.0	
Regload	Load Regulation <sup>(2)</sup>	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	9.0	100.0	mV
			$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$	4.0	50.0	
$I_Q$	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		5	8	mA
$\Delta I_Q$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$		0.03	0.50	mA
		$V_I = 7\text{ V to }25\text{ V}$		0.30	1.30	
$\Delta V_O / \Delta T$	Output Voltage Drift <sup>(3)</sup>	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.8		mV/ $^{\circ}\text{C}$
$V_N$	Output Noise Voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$		42		$\mu\text{V}$
RR	Ripple Rejection <sup>(3)</sup>	$f = 120\text{ Hz}$ , $V_I = 8\text{ V to }18\text{ V}$	62	73		dB
$V_{\text{DROP}}$	Dropout Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ , $I_O = 1\text{ A}$		2		V
$R_O$	Output Resistance <sup>(3)</sup>	$f = 1\text{ kHz}$		15		m $\Omega$
$I_{\text{SC}}$	Short-Circuit Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ , $V_I = 35\text{ V}$		230		mA
$I_{\text{PK}}$	Peak Current <sup>(3)</sup>	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		2.2		A

**Notes:**

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

## Electrical Characteristics (LM7812)

Refer to the test circuit,  $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $V_I = 19\text{ V}$ ,  $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ , unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_O$	Output Voltage	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	11.5	12.0	12.5	V
		$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ , $P_O \leq 15\text{ W}$ , $V_I = 14.5\text{ V to }27\text{ V}$	11.4	12.0	12.6	
Regline	Line Regulation <sup>(12)</sup>	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 14.5\text{ V to }30\text{ V}$	10	240	mV
			$V_I = 16\text{ V to }22\text{ V}$	3	120	
Regload	Load Regulation <sup>(12)</sup>	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	11	240	mV
			$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$	5	120	
$I_Q$	Quiescent Current	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		5.1	8.0	mA
$\Delta I_Q$	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$		0.1	0.5	mA
		$V_I = 14.5\text{ V to }30\text{ V}$		0.5	1.0	
$\Delta V_O / \Delta T$	Output Voltage Drift <sup>(13)</sup>	$I_O = 5\text{ mA}$		-1		mV/ $^{\circ}\text{C}$
$V_N$	Output Noise Voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$		76		$\mu\text{V}$
RR	Ripple Rejection <sup>(13)</sup>	$f = 120\text{ Hz}$ , $V_I = 15\text{ V to }25\text{ V}$	55	71		dB
$V_{\text{DROP}}$	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$		2		V
$R_O$	Output Resistance <sup>(13)</sup>	$f = 1\text{ kHz}$		18		m $\Omega$
$I_{\text{SC}}$	Short-Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$		230		mA
$I_{\text{PK}}$	Peak Current <sup>(13)</sup>	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		2.2		A

### Notes:

12. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.
13. These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.